

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**  
**«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ**  
**імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**  
**ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАТИКИ ТА ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ**  
*Кафедра автоматизованих систем обробки інформації і управління*

«На правах рукопису»

УДК 004.946

«До захисту допущено»

**В.о. завідувача кафедри**

О. А. Павлов  
 (підпис) (ініціали, прізвище)

“ ” \_\_\_\_\_ 2019 р.

## Магістерська дисертація

зі спеціальності 121 «Інженерія програмного забезпечення»

на тему: « Методи та програмні засоби позиціонування об'єктів  
 доповненої реальності»

**Виконав:**

студент VI курсу, групи ІП-82мп

Бернатович Анатолій Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

**Науковий  
керівник**

ст. вик. Олійник Ю.О.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

**Консультант**

доц., к.т.н., Ліщук К.І.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

**Рецензент**

доц. каф. ТК, к.т.н., доц. Остапченко К.Б.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській  
дисертації немає запозичень з праць інших  
авторів без відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_  
 (підпис)

Київ – 2019 року

**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського»**

Факультет інформатики та обчислювальної техніки  
(повна назва)

Кафедра автоматизованих систем обробки інформації та управління  
(повна назва)

Рівень вищої освіти другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність 121 «Інженерія програмного забезпечення»  
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

\_\_\_\_\_ О.А. Павлов  
(підпис) (ініціали, прізвище)

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 р.

**ЗАВДАННЯ  
на магістерську дисертацію студенту  
Бернатовичу Анатолію Олександровичу**

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Методи та програмні засоби розміщення об'єктів доповненої реальності

науковий керівник дисертації ст. вик. Олійник Ю.О..  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від “\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2019 р. № \_\_\_

2. Строк подання студентом дисертації “\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2019 р.

3. Об'єкт дослідження процес розміщення об'єктів доповненої реальності для мобільних застосунків доповненої реальності

4. Предмет дослідження ефективність та точність позиціонування об'єктів у доповненій реальності для відтворення інтерактивних сцен та маршрутів у мобільних застосунках доповненої реальності.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити дослідження існуючих методів позиціонування у застосунках доповненої реальності; дослідження напрямків, які

*можна оптимізувати для створення оптимізованого методу позиціонування; створення моделі оптимізованого позиціонування для застосунків доповненої реальності на основі проведених досліджень; розробка програмного забезпечення, яке використовує створену модель оптимізованого позиціонування; порівняння результатів реалізованої моделі із існуючими методами для застосунків доповненої реальності.*

#### 6. Перелік графічного матеріалу

*1) Схема методу оптимізації позиціонування з використанням комбінованого підходу*

*2) Діаграма послідовності позиціонування з використанням комбінованого підходу*

#### 7. Орієнтовний перелік публікацій Засоби покращення позиціонування в приміщенні у застосунках доповненої реальності

#### 8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

9. Дата видачі завдання “ 01 ” вересня 2019 р.

#### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	<i>Формалізація результатів дослідження застосунків доповненої реальності</i>	<i>20.09.2019</i>	
2	<i>Аналіз методів, що використовуються у застосунках доповненої реальності. Постановка проблеми</i>	<i>10.10.2019</i>	
3	<i>Дослідження напрямів, які можна оптимізувати для покращення ефективності позиціонування</i>	<i>20.10.2019</i>	
4	<i>Розробка практичних методів оптимізації позиціонування</i>	<i>25.10.2019</i>	
5	<i>Розробка програмного забезпечення для експерименту</i>	<i>15.11.2019</i>	
7	<i>Тестування методу оптимізації. Інтеграція методу в існуючий програмний застосунок</i>	<i>20.11.2019</i>	
8	<i>Оформлення документації</i>	<i>01.12.2019</i>	
9	<i>Подання роботи на попередній захист</i>	<i>05.12.2019</i>	
10	<i>Подання роботи на основний захист</i>		

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ (ініціали, прізвище)

Науковий керівник

\_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ (ініціали, прізвище)

## РЕФЕРАТ

**Актуальність теми:** необхідність збільшити точність позиціонування пристрою та об'єктів у доповненій реальності у мобільному застосунку.

**Мета дослідження:** оптимізувати методи позиціонування для застосунків, що використовують доповнену реальність.

Для реалізації поставленої мети були сформульовані **наступні завдання:** дослідити існуючі методи позиціонування об'єктів у доповненій реальності, виявити їх переваги і недоліки; дослідити сучасний ринок мобільних застосунків із використанням доповненої реальності, проаналізувати, які методи використовуються у застосунках; створити метод позиціонування об'єктів у доповненій реальності на основі методів, що найчастіше використовуються у AR-застосунках; розробити програмне забезпечення, яке використовує створений оптимізований метод позиціонування об'єктів у доповненій реальності; здійснити порівняння результатів застосування розробленого методу позиціонування із існуючими методами позиціонування об'єктів у доповненій реальності.

**Об'єкт дослідження:** процес розміщення об'єктів доповненої реальності для мобільних застосунків доповненої реальності.

**Предмет дослідження:** ефективність та точність позиціонування об'єктів у доповненій реальності для відтворення інтерактивних сцен та маршрутів у мобільних застосунках доповненої реальності

**Методи дослідження:** дослідження, аналіз, експеримент.

**Наукова новизна:** найбільш суттєвими науковими результатами магістерської дисертації є оптимізація позиціонування у застосунках доповненої реальності шляхом використання комбінованих методів позиціонування, таких як GPS, візуальні маркери та SLAM.

**Практичне значення отриманих результатів** визначається тим, що запропонований метод позиціонування може застосовуватися в застосунках

доповненої реальності і пришвидшити та збільшити точність відстеження позиції пристрою, що в результаті покращить досвід використання у користувачів.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами:**

Робота виконувалась на кафедрі автоматизованих систем обробки інформації та управління Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського» в рамках теми «Методи та технології високопродуктивних обчислень та обробки надвеликих масивів даних». Державний реєстраційний номер 0117U000924.

**Апробація:** Основні положення роботи доповідались і обговорювались на 3 всеукраїнській науково-практичній конференції молодих вчених та студентів «Інформаційні системи та технології управління».

**Публікації:** Наукові положення дисертації опубліковані в матеріалах 3 всеукраїнських науково-практичних конференцій молодих вчених та студентів «Інформаційні системи та технології управління».

**Ключові слова:** ДОПОВНЕНА РЕАЛЬНІСТЬ, ПОЗИЦІОНУВАННЯ, ГЕОМАРКЕРИ, МОБІЛЬНИЙ ЗАСТОСУНОК.

## ABSTRACT

**Topicality:** the need to increase the accuracy of positioning of the device and objects in augmented reality in a mobile application.

**Purpose of the research:** to optimize positioning methods for augmented reality applications.

To achieve this goal, **the following tasks** were formulated: research on existing methods of positioning objects in augmented reality, to identify their advantages and disadvantages; research marketplace for mobile app with augmented reality, analyze what methods are used in the app; create a method of positioning objects in augmented reality based on the methods most commonly used in AR applications; develop software that uses the created method of object positioning in augmented reality; compare the results of the developed positioning method with existing methods of object positioning in augmented reality.

**Object of research:** the process of positioning augmented reality objects for AR applications.

**Subject of research:** the effectiveness and accuracy of object positioning in augmented reality for playback of interactive scenes and routes in augmented reality mobile applications.

**Research methods:** research, analysis, experiment.

**Scientific Novelty:** the most significant scientific output of a master's thesis is the optimization of positioning in augmented reality applications through the use of combined positioning techniques such as GPS, visual markers, and SLAM

**The practical value of the results** is determined by the fact that the proposed positioning method can be used in augmented reality applications and to accelerate and increase the accuracy of tracking the position of the device, resulting in improved user experience.

**Relationship with working with scientific programs, plans, topics:** The work was performed at the Department of Computer-Aided Management And Data Processing Systems of the National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky

Kyiv Polytechnic Institute» within the topic «Methods and technologies of high-performance computing and processing of large data sets». State Registration Number is 0117U000924.

**Testing:** The main provisions of the work were reported and discussed at the 3rd All-Ukrainian Scientific and Practical Conference of Young Scientists and Students "Information Systems and Management Technologies".

**Publications:** The scientific provisions of the dissertation are published in the materials of 2 and 3 all-Ukrainian scientific-practical conferences of young scientists and students "Information systems and management technologies".

**Keywords:** AUGMENTED REALITY, POSITIONING, GEOMARKER, MOBILE APPLICATION.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ .....	8
ВСТУП .....	9
1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПОЗИЦІОНУВАННЯ .....	11
1.1 Технології позиціонування об'єктів у доповненій реальності .....	11
1.2 Позиціонування на вулиці .....	12
1.3 Позиціонування в приміщенні .....	15
Висновки до розділу .....	21
2 МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ МЕТОДІВ ПОЗИЦІОНУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ .....	22
2.1 Датчики сприйняття світу .....	22
2.2 Невизначені просторові відношення .....	22
2.3 Стохастична карта .....	26
2.4 Створення карти .....	29
Висновки до розділу .....	32
3 РОЗРОБЛЕНІ МЕТОДИ .....	33
3.1 Методи оптимізації позиціонування .....	33
3.2 Критерій оптимізації .....	33
3.3 Метод оптимізації шляхом додавання візуальних маркерів .....	33
Висновки до розділу .....	39
4 ПРОГРАМНА АРХІТЕКТУРА ТА РОЗРОБКИ ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ .....	40
4.1 Огляд загальної архітектури системи .....	40
4.2 Огляд використаних інструментів .....	41
Висновки до розділу .....	44
5 ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ .....	46
5.1 Тестування програмного забезпечення .....	46



5.2 Результати експерименту .....	48
Висновки до розділу .....	49
6 БІЗНЕС ПЛАН ІННОВАЦІЙНОГО ПРОЕКТУ.....	51
6.1 Опис ідеї стартап-проекту.....	51
6.2 Технологічний аудит ідеї проекту.....	54
6.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	55
6.4 Розроблення ринкової стратегії .....	66
6.5 Розробка маркетингової програми стартап проекту.....	69
6.6 Висновки до розділу .....	72
ВИСНОВКИ.....	73
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....	75

## **ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ**

AR – результат введення в поле сприйняття будь-яких сенсорних даних з метою доповнення відомостей про оточення і поліпшення сприйняття інформації.

SDK – набір із засобів розробки та утиліт, який дозволяє розробникам створювати прикладні програми за визначеною технологією або для певної платформи.

ARKit – SDK розроблена для створення AR застосунків під платформу iOS.

ARCore – SDK розроблена для створення AR застосунків під платформу Android.

Unity – інструмент для розробки дво- та тривимірних застосунків та ігор, що працює на операційних системах Windows і OS X. Створені за допомогою Unity застосунки працюють під системами Windows, OS X, Android, Apple iOS, Linux.

SLAM – Spatial Location and Mapping

## ВСТУП

Мобільні застосунки із використанням доповненої реальності стають все більш поширеними, оскільки все більше пристроїв переходить на нові версії мобільних операційних систем, що підтримують доповнену реальність у застосунках, та власне нові мобільні пристрої мають більш витривалі складові для інтенсивної роботи телефону, зокрема для застосунків доповненої реальності. В ситуації коли для використання застосунку необхідно знати точне місцезнаходження пристрою, необхідно розробити уніфікований метод для абсолютного позиціонування в зовнішній середі та в приміщеннях.

Мета роботи – створити оптимізований метод позиціонування об’єктів у доповненій реальності, що задовольняє сучасним потребам застосунків.

Для досягнення мети було поставлено наступні задачі:

- дослідити існуючі методи позиціонування об’єктів у доповненій реальності, виявити їх переваги і недоліки;
- дослідити сучасний ринок мобільних застосунків із використанням доповненої реальності, проаналізувати, які методи використовуються у застосунках;
- створити метод позиціонування об’єктів у доповненій реальності на основі методів, що найчастіше використовуються у AR-застосунках;
- розробити програмне забезпечення, яке використовує створений метод позиціонування об’єктів у доповненій реальності;
- здійснити порівняння результатів застосування розробленого методу позиціонування із існуючими методами позиціонування об’єктів у доповненій реальності.

Об’єкт дослідження – процес розміщення об’єктів доповненої реальності для мобільних застосунків доповненої реальності.

Предмет дослідження – ефективність та точність позиціонування об'єктів у доповненій реальності для відтворення інтерактивних сцен та маршрутів у мобільних застосунках доповненої реальності.

## 1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПОЗИЦІОНУВАННЯ

У даному розділі розглянуто типи технологій доповненої реальності, проблеми доповненої реальності у застосунках, розглянуто і проаналізовано існуючі методи позиціонування об'єктів доповненої реальності.

### 1.1 Технології позиціонування об'єктів у доповненій реальності

Позиційне відстеження - це технологія, яка дозволяє пристрою оцінювати своє положення щодо навколишнього середовища. Для досягнення виявлення його відносного положення використовується поєднання апаратного та програмного забезпечення. Позиційне відстеження - це найважливіша технологія доповненої реальності, що дозволяє відстежувати рух із шістьма ступенями свободи (6DOF). [1]

Технологія позиційного відстеження AR приносить різні переваги досвіду AR. Відомо, що позиційне відстеження покращує 3D-сприйняття віртуального середовища за рахунок ефекту паралакса (чим об'єкти ближче до очей, тим швидше вони рухаються). Паралакс допомагає інформувати мозок про сприйняття відстані разом зі стереоскопією.

Щоб створити відповідність між реальним та віртуальним просторами, ARKit використовує техніку, яку називають візуально-інерціальною одометрією. Цей процес поєднує в собі інформацію з обладнання пристрою iOS, що визначає рух, та аналіз комп'ютерного бачення сцени, видимої в камері пристрою. ARKit розпізнає помітні особливості (features) в зображенні сцени, відстежує відмінності в положеннях цих особливостей у відеокадрах і порівнює цю інформацію з даними зчитування руху. Результатом цього є високоточна модель положення та руху пристрою.

Світове відстеження також аналізує і розуміє зміст сцени. Використовуйте методи тестування колізій для пошуку реальних поверхонь, що відповідають точці на зображенні камери. ARKit виявляє плоскі поверхні на зображенні камери та повідомляє їх положення та розміри. ARKit надає

можливість використовувати результати хіт-тесту або виявлені площини для розміщення або взаємодії з віртуальним вмістом у сцені. [2]

ARCore використовує подібний підхід. Коли телефон рухається у просторі, ARCore використовує процес, який називається паралельною одометрією та картографування, або COM (concurrent odometry and mapping), щоб зрозуміти, де знаходиться телефон відносно світу навколо нього. ARCore виявляє візуально відмінні риси у захопленому зображенні камери, що називається точками ознак (feature points), і використовує ці точки для обчислення зміни позиції телефона. Візуальна інформація поєднується з інерційними вимірюваннями IMU пристрою для оцінки позиції (положення та орієнтації) камери відносно світу з плином часу.

Вирівнюючи позу віртуальної камери, яка відображає 3D контент, з позою камери пристрою, наданої ARCore, розробники можуть виводити віртуальний вміст з правильної точки зору. Відображене віртуальне зображення може бути накладене поверх зображення, отриманого з камери пристрою, завдяки чому він виглядає так, ніби віртуальний вміст є частиною реального світу. [3]

Обидві SDK базуються на сенсорах пристрою та комп'ютерному баченні. Через потребу чіткого зображення та точних даних сенсорів. Відповідно, в умовах поганої камери або слабкого освітлення, якість відстеження позиції може значно погіршитись. Також впливає фактор різких коливань пристрою, через них акселерометр та гіроскоп можуть давати хибні данні.

## 1.2 Позиціонування на вулиці

Існує декілька систем для виявлення позиції запропонованих та реалізованих. Для застосунків в зовнішньому середовищі (за винятком будівель), Global Navigation Satellite System (GNSS), наприклад GPS система, заснована на сузір'ї супутників, є загальноновживаною [4]. Однак сигнал GNSS недостатньо сильний, щоб проникнути через різні матеріали, що

використовуються в будівництві, також явища віддзеркалювання та багатосаровсті є факторами зменшення ефективності GNSS в густонаселених містах або в приміщеннях. Ось чому системи розміщення в приміщенні були розроблені. Їх можна класифікувати три широкі категорії на основі передачі використовуване середовище: інфрачервоні, ультразвукові та радіочастотні. [5]

Для позиціонування на вулиці можна використовувати вбудовані в мобільний пристрій сенсори (деякі з них вже використовуються для коректного функціонування доповненої реальності):

- акселерометр;
- гіроскоп;
- магнітометр (компас);
- камера;
- GPS.

Розглянемо більш детально сенсори.

Акселерометр - електромеханічний прилад, що використовується для вимірювання сил прискорення. Такі сили можуть бути статичними, як і безперервна сила тяжіння, або, як це стосується багатьох мобільних пристроїв, динамічними для відчуття руху або коливань. Прискорення - це вимірювання зміни швидкості або швидкості, поділеної на час. Сенсори можуть вимірювати прискорення на одній, двох або трьох осях.

Як правило, акселерометри містять ємнісні пластини всередині. Деякі з них нерухомі, а інші прикріплені до мізерних пружин, які рухаються всередину, оскільки сили прискорення діють на датчик. По мірі переміщення цих пластин по відношенню один до одного ємність між ними змінюється. З цих змін ємності можна визначити прискорення. Інші акселерометри можуть бути зосереджені навколо п'єзоелектричних матеріалів. Ці крихітні кристалічні структури видають електричний заряд, коли їх розміщують під механічним навантаженням (наприклад, прискоренням). [6]

Для позиціонування акселерометр виконує надзвичайну важливу функцію, а саме відстеження поступальних рухів. Однак проблему абсолютного позиціонування він не вирішує, через те що сенсор вловлює лише дельту переміщення. Ще одна проблема виникає при дуже різких змінах напрямку, швидкому коливанні, акселерометр може втратити точність.

Датчик гіроскопа - це прилад, який може вимірювати та підтримувати орієнтацію та кутову швидкість об'єкта. Він більш досконалий, ніж акселерометр. Сенсор може вимірювати нахил та бічну орієнтацію об'єкта, тоді як акселерометр може вимірювати лише лінійний рух. Датчики гіроскопа називають також датчиком кутової швидкості або датчиками кутової швидкості. Кутова швидкість - це зміна кута обертання об'єкта за одиницю часу, вимірюється в градусах на секунду. [7]

Гіроскоп дуже важливий для коректного позиціонування, а саме для відстеження орієнтації пристрою. Разом з акселерометром вони забезпечують відстеження за шістьма ступенями свободи (6DoF). Однак як і в акселерометра є проблема абсолютного позиціонування по осі у, тобто відносно півночі.

Магнітометр - це прилад, який вимірює магнетизм - напрям, силу чи відносну зміну магнітного поля в певному місці. Приклад вимірювання намагніченості магнітного матеріалу (як феромагнетика). Компас - це один такий пристрій, який вимірює напрямок навколишнього магнітного поля, в даному випадку - магнітного поля Землі. [8]

Магнітометр стає в нагоді для вирішення проблеми орієнтації відносно півночі. Але в різних умовах точність показників сенсору може значно відхилятися від істинних. Наприклад в умовах стороннього магнітного поля, сенсор не зможе точно вказувати на північ.

Камера невід'ємна частина для комп'ютерного бачення. Саме комп'ютерне бачення робить уточнення даних з сенсорів. Комп'ютерне бачення дозволяє використовувати середовище як опорні точки для позиціонування.



Глобальна система позиціонування (GPS) - система радіонавігації на базі супутників, що належить уряду Сполучених Штатів і керується ВПС США. Це глобальна навігаційна супутникова система (GNSS), яка надає геолокаційну та часову інформацію GPS-приймачу в будь-якій точці Землі або біля неї, де є безперешкодна лінія зору до чотирьох і більше GPS-супутників. Положення об'єкта обчислюється завдяки використанню розміщеного на ньому GPS-приймача, який приймає та обробляє сигнали супутників космічного сегменту GPS-системи глобального позиціонування. [9]

Більшість сучасних мобільних застосунків, які потребують дані геопозиції користувача використовують GPS, але ця система має недолік. Такі перешкоди, як гори та будівлі, блокують відносно слабкі GPS-сигнали, тому точність таких даних може сильно змінюватись в залежності від місцезнаходження користувача, що не досить надійний спосіб для відстеження позиції.

### 1.3 Позиціонування в приміщенні

Для навігації і позиціонування користувача в приміщенні не всі з перерахованих датчиків можуть допомогти.

Використання камери є необхідним для застосунків доповненої реальності, як в приміщенні, так і для використання на вулицях.

Глобальні навігаційні супутникові системи (GPS) зазвичай не підходять для позиціонування у приміщенні, оскільки мікрохвилі ослаблені через дах будівлі, стіни та інші об'єкти.

В даний час приймачі GNSS стають все більш чутливими через збільшення потужності обробки мікрочіпів. Приймачі GNSS з високою чутливістю здатні приймати супутникові сигнали в більшості приміщень.

Однак належне покриття необхідних чотирьох супутників для пошуку приймача не досягається усіма сучасними конструкціями для внутрішніх операцій. [10]

Через ослаблення сигналу, викликане будівельними матеріалами, система супутникової системи GPS втрачає значну потужність у приміщенні, що впливає на необхідне покриття для приймачів щонайменше чотирма супутниками. Ці самі ефекти погіршують усі відомі рішення для розміщення в приміщенні, в яких використовуються електромагнітні хвилі від внутрішніх передавачів до внутрішніх приймачів. Для компенсації цих проблем застосовується сукупність фізико-математичних методів. Альтернативні джерела навігаційної інформації, такі як інерційний блок вимірювання (IMU), монокулярна камера одночасної локалізації та відображення (SLAM) та Wi-Fi SLAM покращують навігацію всередині приміщення. Інтеграція даних різних навігаційних систем з різними фізичними принципами може підвищити точність та надійність загального рішення.

Вбудований компас пристрою може давати помилку до  $20^0$  як при застосуванні в приміщенні, так і на вулиці. Результати компасу потрібно корегувати за допомогою додаткових датчиків.

Система позиціонування в приміщенні (IPS) – це мережа пристроїв, які використовуються для пошуку об'єктів, де GPS та інші супутникові технології не мають точності або повністю не спрацьовують, наприклад, всередині багатоповерхових будівель, аеропортів, алей, гаражів для паркування та підземних місць.

Для забезпечення розміщення в приміщенні використовується велика різноманітність засобів та пристроїв.

IPS має широке застосування в комерційній, військовій, роздрібній торгівлі та галузях відстеження запасів. На ринку є кілька комерційних систем, але немає стандартів для системи IPS. Натомість кожна установка пристосована до просторових розмірів, будівельних матеріалів, потреб у точності та бюджетних обмежень.

У мережах IPS використовуються радіохвилі, магнітні поля, акустичні сигнали та поведінкова аналітика. IPS досягла точності розташування 20–30 см порівняно з GPS з точністю 4,9 метра на відкритому повітрі. [11]

Незважаючи на те, що більшість поточних IPS здатні визначати позицію об'єкта, їх не можна використовувати для виявлення орієнтації чи напрямку об'єкта.

У більшості застосувань сукупність цілей для відстеження більша, ніж одна ціль. Отже, IPS повинен відповідати належним специфічним ідентифікаціям для кожної спостережуваної цілі і повинен бути здатний розділяти та розпізнавати цілі окремо в межах групи. IPS повинен бути в змозі ідентифікувати об'єкти, які відстежуються, незважаючи на "нецікавих" сусідів. Залежно від конструкції, або сенсорна мережа повинна знати, з якого тега вона отримала інформацію, або пристрій розміщення повинен мати можливість безпосередньо визначати цілі.

Загалом, системи позиціонування в приміщенні використовують бездротові технології та технології, що не використовують радіосигнали.

Технології без використання радіосигналів можуть використовуватися для позиціонування без використання наявної бездротової інфраструктури. Це може забезпечити підвищення точності за рахунок обладнання та установок.

Магнітне позиціонування може запропонувати користувачам зі смартфонами в приміщенні точність 1–2 метри з 90% вірогідністю, не використовуючи додаткову бездротову інфраструктуру для позиціонування. Магнітне позиціонування базується на залізі всередині будівель, які створюють локальні варіації магнітного поля Землі. Неоптимізовані мікросхеми компаса всередині смартфонів можуть сприймати та записувати ці магнітні зміни для відображення локальних місць.

Інерційні вимірювання. Числення координат користувачів та інші підходи до позиціонування користувачів пропонують інерційну вимірювальну одиницю (IMU), яку здійснює користувач, шляхом вимірювання кроків або іншими методами, іноді посиляючись на карти або інші додаткові датчики. Інерційні датчики MEMS отримують внутрішні шуми, які призводять до кубічно зростаючої помилки положення з часом.

Для зменшення зростання помилок на таких пристроях часто застосовується підхід, заснований на фільтрі Калмана. Однак для того, щоб зробити його здатним будувати карту, буде використовуватися алгоритм SLAM . [12]

Візуальна система позиціонування може визначати розташування мобільного пристрою з підтримкою камери, декодуючи координати місцеположення від візуальних маркерів. У такій системі маркери розміщуються в певних місцях по всьому майданчику, кожен маркер кодує координати цього місця розташування: широту, довготу та висоту від підлоги. Вимірювання візуального кута від пристрою до маркера дозволяє пристрою оцінювати власні координати розташування стосовно маркера. Координати включають широту, довготу, рівень та висоту від підлоги.

Позиціонування на основі відомих візуальних характеристик. Колекція послідовних знімків з камери мобільного пристрою може створити базу даних зображень, яка підходить для позиції у приміщенні. Після створення бази даних мобільний пристрій, що рухається через місце проведення, може робити знімки, які можна інтерполювати в базу даних, даючи координати місцеположення. Ці координати можуть бути використані разом з іншими методами розташування для більшої точності.

Окрім цього, існують підходи із використанням бездротових технологій. Для розміщення може використовуватися будь-яка бездротова технологія. Багато різних систем використовують переваги існуючої бездротової інфраструктури для розміщення в приміщенні. Існує три варіанти топології первинної системи для конфігурації апаратного та програмного забезпечення, на основі мережі, на основі терміналу та за допомогою терміналу. Точність позиціонування може бути підвищена за рахунок обладнання та установок бездротової інфраструктури.

Система позиціонування Wi-Fi (WPS) застосовується там, де GPS недостатній. Техніка локалізації, що використовується для позиціонування з бездротовими точками доступу, заснована на вимірюванні інтенсивності прийнятого сигналу та методі фінгерпринтів. Типові параметри, корисні для

геолокації точки доступу Wi-Fi або точки бездротового доступу, включають SSID та MAC-адресу точки доступу. Точність залежить від кількості позицій, які були введені в базу даних. Можливі коливання сигналу, які можуть виникнути, можуть збільшити помилки та неточності на шляху користувача.

Bluetooth. Взагалі, Bluetooth передбачено для вимірювання близькості, а не точного місцезнаходження. Bluetooth не призначений для надання чітко встановленого місця подібно до GPS, однак він може використовуватися для вимірювання близькості до датчику у приміщенні, що допомагає вирішенню проблеми позиціонування у приміщенні. [13]

Для застосунків доповненої реальності активно використовується iBeacon на базі Bluetooth LE, що просувається Apple Inc. Що стосується Bluetooth 5.1, оскільки кут на антену можна виміряти, метод можна використовувати для визначення внутрішнього положення точного до сантиметрового рівня.

Фіксація точок. Проста концепція індексації місцеположення та звітування про присутність для позначених об'єктів, використовує лише ідентифікацію відомими датчиками. Зазвичай це стосується систем пасивної радіочастотної ідентифікації (RFID) / NFC, які не повідомляють про потужність сигналу та різні відстані одиночних тегів або про велику кількість тегів і не поновлюють жодних раніше відомих координат розташування датчика або поточне місцезнаходження будь-яких тегів.

Концепція сітки. Замість вимірювання великого діапазону може бути влаштована щільна мережа приймачів низького діапазону, наприклад за схемою сітки для економії протягом усього простору, що спостерігається. Через низький діапазон об'єкт з тегом буде ідентифіковано лише кількома близькими мережевими приймачами. Ідентифікований тег повинен знаходитися в межах діапазону ідентифікаційного зчитувача, що забезпечує приблизне наближення до місця розташування тегу. Удосконалені системи поєднують візуальне покриття з сіткою камери та бездротовим покриттям для отримання приблизної позиції.

Концепція датчиків дальнього діапазону. Більшість систем використовують постійне фізичне вимірювання (наприклад, кут і відстань або тільки відстань) разом з ідентифікаційними даними в одному комбінованому сигналі. Датчики здебільшого охоплюють цілий поверх, прохід або просто одну кімнату. Рішення для короткого охоплення застосовуються за допомогою декількох датчиків та перекриття досяжності.

Кут прибуття – кут, під яким сигнал надходить на приймач. Кут прибуття зазвичай визначається шляхом вимірювання різниці у часі приходу між декількома антенами в масиві датчиків. В інших приймачах він визначається масивом напрямлених датчиків – кут може визначатись тим, який датчик отримав сигнал. Кут прибуття зазвичай використовується з тріангуляцією та відомою базовою лінією для пошуку місця відносно двох якірних передавачів.

Час прибуття. – це кількість часу, який потребується сигналу для поширення від передавача до приймача. Оскільки швидкість поширення сигналу є незмінною і відомою (за умови ігнорування різниці в середовищах), час прямуювання сигналу може використовуватися для прямого обчислення відстані. Це техніка, що використовується GPS. Системи, які використовують час прибуття, як правило, потребують складного механізму синхронізації для підтримки надійного джерела часу для датчиків, хоча цього можна уникнути в ретельно розроблених системах, використовуючи ретранслятори для встановлення зв'язку, однак необхідно робити корегування щодо місцезнаходження ретранслятору.

Індикація потужності прийнятого сигналу (RSSI) – це вимірювання рівня потужності, отриманого датчиком. Оскільки радіохвилі поширюються відповідно до закону оберненого квадрата, відстань може бути приблизно визначена, виходячи із співвідношення між силою переданого та прийнятого сигналу (якість передачі є постійною залежно від обладнання), доки інші помилки не сприяють несправним результатам. Внутрішня частина будівель не є вільним простором, тому на точність значно впливає відображення та

поглинання від стін. Нестационарні предмети, такі як двері, меблі та люди можуть створювати ще більшу проблему, оскільки вони можуть впливати на силу сигналу динамічними, непередбачуваними способами.

#### Висновки до розділу

У результаті аналізу джерел було виявлено основи роботи застосунків доповненої реальності, було розглянуто існуючі методи позиціонування та орієнтації у просторі на основі внутрішніх сенсорів та зовнішнього обладнання.

Було розглянуто проблеми позиціонування та розміщення об'єктів у доповненій реальності для мобільних застосунків. Було обґрунтовано необхідність створення та використання більш точного та оптимального методу для позиціонування.

Також було виявлено, що на сьогоднішній день не існує універсального підходу для позиціонування в приміщенні та поза ним, який задовольняє потребам сучасних мобільних застосунків.

## **2 МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ МЕТОДІВ ПОЗИЦІОНУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ**

### **2.1 Датчики сприйняття світу**

При першому запуску AR застосунку який працює на основі Google ARCore, Apple ARKit або Microsoft Mixed Reality, система не знає багато про навколишнє середовище. Вона починає обробляти дані з різних джерел - переважно з камери. Для підвищення точності пристрій поєднує дані інших корисних датчиків, таких як акселерометр та гіроскоп.

На основі цих даних алгоритм має дві цілі:

- а) побудуйте карту навколишнього середовища;
- б) знайти пристрій у цьому середовищі.

Для деяких сценаріїв це легко. Якщо у вас є свобода розміщувати маяки у відомих місцях, за допомогою тріангулювання можна дізнатись точне місцезнаходження пристрою. Однак мобільна доповнена реальність зазвичай не має розкоші розміщувати маяки будь-де, а GPS не є достатньо точним, особливо в приміщенні.

### **2.2 Невизначені просторові відношення**

У ідеальному світі ви маєте досконалу інформацію про точне розташування всіх компонентів системи. Подібна система зображена на рисунку 2.1. Сюди входить розташування маяка (1), а також розташування пристрою(2).



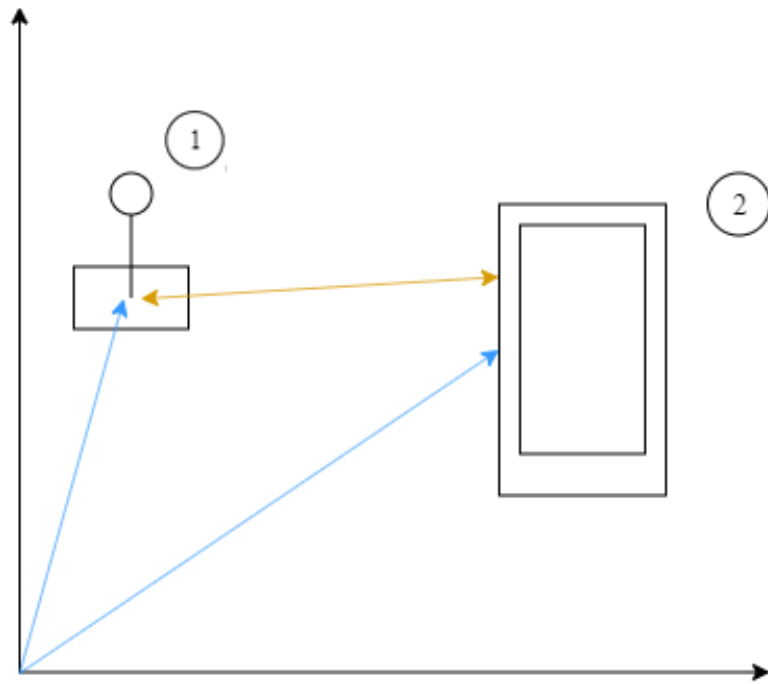


Рисунок 2.1 – Ідеальна система позиціонування

В результаті ви можете обчислити точну залежність між маяком (1) та власним розташуванням (2). Якщо вам потрібно перемістити пристрій в (3), ви можете зробити висновок, куди і як потрібно рухатися (див. рисунок 2.2).

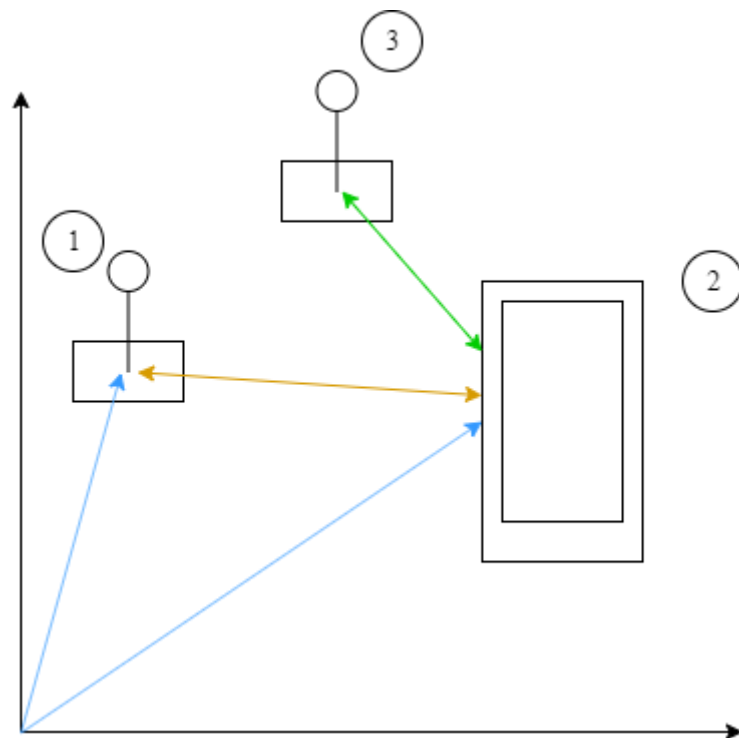


Рисунок 2.2 – Переміщення у ідеальній системі позиціонування

На жаль, у реальному сценарії SLAM необхідно працювати з недосконалими знаннями, що призводить до неточностей. На рисунку 2.3 можна побачити, що точного місцеположення не можна з'ясувати, а відомо що точка знаходиться в певній області.

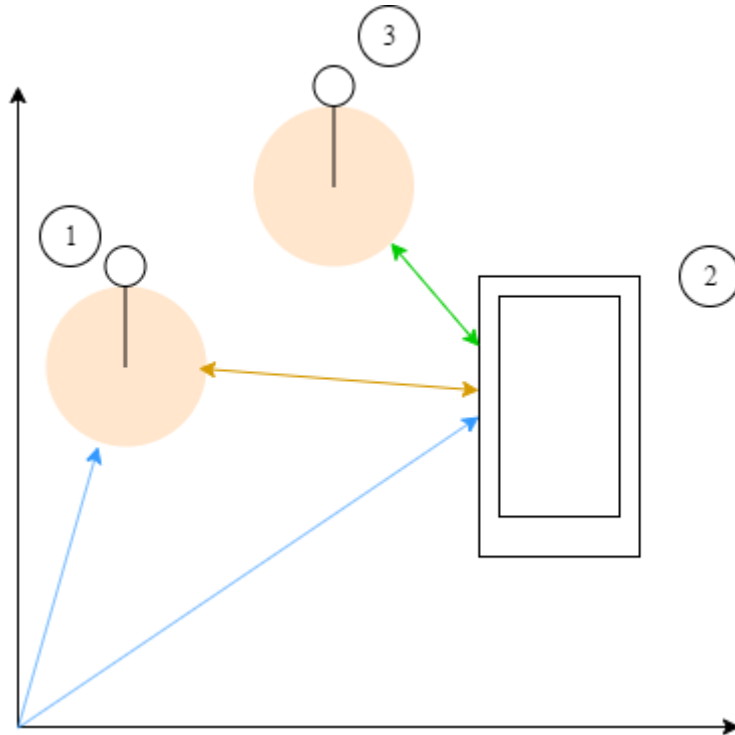


Рисунок 2.3 – Невизначені просторові відношення

Точки мають просторове відношення одне до одної. Як результат, ви отримувате розподіл ймовірностей, де може бути кожна позиція. Для деяких точок ви можете мати більш високу точність. Для інших невизначеність може бути великою. Алгоритми, що часто використовуються для обчислення позицій на основі невизначеності, - це розширений фільтр Кальмана, оцінка максимального апостеріорі (MAP) або корекція розшарування (BA).

Через зв'язки між точками, кожне нове оновлення датчика впливає на всі позиції та оновлює всю карту. Для актуалізації всього потрібна значна кількість математики.

Просторова структура, показана на рисунку 2.4, представляє фактичні основні зв'язки, про які ми маємо явну інформацію. Враховуючи метод

поєднання послідовних "ланцюжків" заданих відношень, ми можемо отримати неявні відношення.

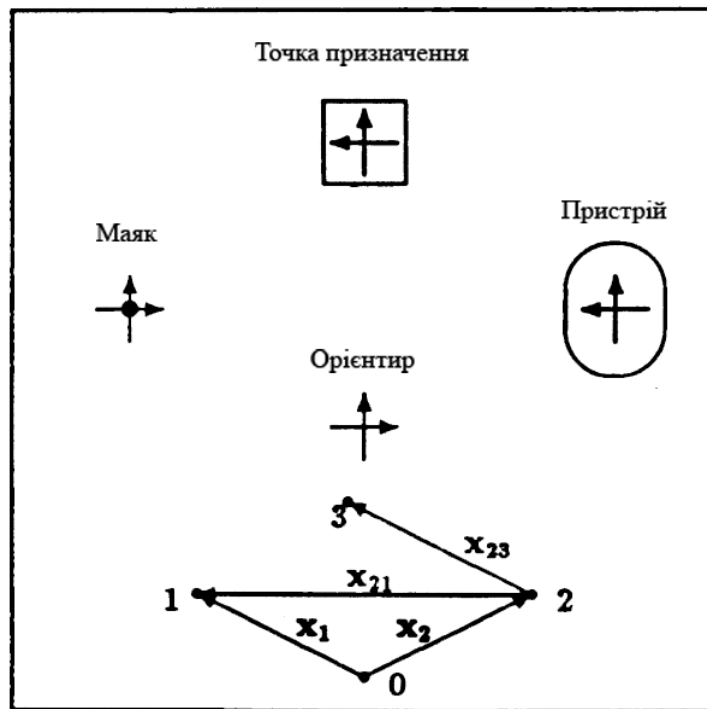


Рисунок 2.4 – Просторова структура

Якщо явні зв'язки не відомі досконало, помилки будуть складатись у ланцюзі обчислень і будуть більшими, ніж в будь-якій складовій ланцюга. Маючи досконалу інформацію, співвідношення  $x_{21}$  не потрібно вимірювати - це можна обчислити через ланцюг (використовуючи  $x_2$  та  $x_1$ ). Однак через недосконалі знання обчислені значення та вимірювання будуть різними. Різниця вирішується об'єднанням інформації в опис принаймні настільки "точний", як найточніший фрагмент, незалежно від того, як описуються помилки. Якщо операція злиття цього не робить, немає сенсу використовувати її.

Реальні взаємозв'язки  $x_1$ ,  $x_2$  та  $x_{21}$  взаємно обмежені, і коли вводиться інформація про  $x_{21}$ , операція злиття повинна покращити всі їх оцінки на величини, пропорційні величинам їх початкових відносних невизначеності. Якщо операція злиття послідовна, одне оновлене відношення (вектор) може

бути вилучено з циклу, оскільки відношення завжди можна перерахувати (шляхом складання інших).

Очевидно, ситуація може бути представлена доволі складним графіком, що зробить оцінку деяких взаємозв'язків, враховуючи всю наявну інформацію, складним завданням.

### 2.3 Стохастична карта

Просторове відношення буде представлено вектором його просторових змінних,  $x$ . Наприклад, положення та орієнтацію мобільного пристрою можна описати його координатами  $x$  і  $y$  у двовимірному декартовому еталонному просторі та за його орієнтацією  $\phi$ , заданої у вигляді обертання навколо осі  $z$ . Більш того, невизначена просторова залежність може бути представлена розподілом ймовірності над її просторовими змінними. Повний розподіл ймовірностей загалом недоступний. Наприклад, більшість вимірювальних приладів надають лише номінальне значення вимірюваного співвідношення, і ми можемо оцінити середню помилку за характеристиками датчика. Однак повний розподіл може бути непотрібним для прийняття рішень. З цієї причини ми обираємо моделювати невизначеного просторового зв'язку, оцінюючи перші два моменти його розподілу ймовірностей - середнє значення,  $\hat{X}$  та коваріацію. На рисунку 2.5 показана наша карта із лише одним об'єктом, розташованим у ній - маяком. Діагональні елементи матриці коваріації є лише варіаціями просторових змінних, тоді як позадіагональні елементи - це коваріації між просторовими змінними.



Рисунок 2.5 – Карта з одним відношенням

$$\hat{x} = \hat{x}_1 = \begin{bmatrix} \hat{x} \\ \hat{y} \\ \hat{\phi} \end{bmatrix}, \quad C(x) = \begin{bmatrix} \sigma_x^2 & \sigma_{xy} & \sigma_{x\phi} \\ \sigma_{xy} & \sigma_y^2 & \sigma_{y\phi} \\ \sigma_{x\phi} & \sigma_{y\phi} & \sigma_\phi^2 \end{bmatrix}$$

Аналогічно для моделювання системи з  $n$  невизначених просторових зв'язків ми побудуємо вектор усіх просторових змінних, який називається вектором стану системи. Як і раніше, ми будемо оцінювати середнє значення вектора стану,  $\hat{x}$  та матрицю коваріації системи,  $C(x)$ . На рисунку 2.6 структуру карти визначають рекурсивно (описано нижче), забезпечуючи метод її побудови, додаючи одночасно одне нове відношення.

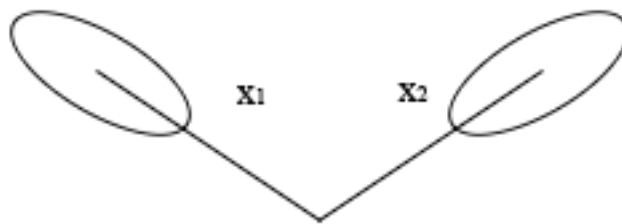


Рисунок 2.6 – Додавання нового об'єкта

$$\hat{x}' = \begin{bmatrix} \hat{x} \\ \vdots \\ \hat{x}_n \end{bmatrix}, \quad C(x') = \begin{bmatrix} C(x') & \cdots & C(x, x_n) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ C(x_n, x) & \cdots & C(x_n) \end{bmatrix}$$

Поточний вектор стану системи розширюється з  $x_n$ , додається вектор просторових змінних для нового невизначеного співвідношення. Аналогічно, матриця коваріації поточної системи доповнюється матрицею коваріації нового вектора  $C(x_n)$  та її перехресною коваріацією з новим вектором  $C(x, x_n)$ . Матриця перехресної коваріації складається із стовпця підматриць - перехресних коваріацій кожної з вихідних співвідношень у векторі стану з новою,  $C(x_i, x_n)$ . Ці позадіагональні підматриці кодують залежності між оцінками різних просторових співвідношень і забезпечують механізм оновлення всіх реляційних оцінок, які залежать від будь-яких змін.

Таким чином, наша “карта” складається з поточної оцінки середнього значення векторного стану системи, яка дає номінальне розташування об'єктів на карті відносно референтного фрейму, і пов'язаної з ним матриці коваріації системи, яка дає невизначеність кожної точка на карті та

взаємозалежності цих невизначеностей. Карта тепер може бути побудована за допомогою початкових оцінок усереднень та коваріацій співвідношень  $x_1$  та  $x_2$ , як показано на рисунку 2.6. Якщо дані оцінки незалежні одна від одної, матриця перехресної коваріантності буде дорівнює 0.

Для деяких рішень, заснованих на невизначених просторових відносинах, ми повинні припустити певний розподіл, який відповідає оціненим моментам. Можливо, потрібно мати можливість обчислити ймовірність того, що певний предмет опиниться у полі зору.

Враховуючи лише середнє значення,  $\hat{x}$  і матрицю коваріації,  $C(x)$ , багатоваріантного розподілу ймовірностей, принцип максимальної ентропії вказує, що розподіл, отриманий внаслідок припущення найменшої додаткової інформації, є нормальним розподілом. Крім того, якщо співвідношення обчислюється комбінуванням безлічі різних відомостей, теорема про центральну межу вказує на те, що отриманий розподіл буде прямувати до нормального розподілу.[14]

Будемо відображати невизначені просторові відносини за допомогою побудови контурів постійної ймовірності від нормального розподілу із заданою середньою та коваріаційною інформацією. Ці контури - це концентричні еліпсоїди (еліпси для двох вимірів), параметри яких можна обчислити з матриці коваріації,  $C(x)$  [15]. Важливо підкреслити, що ми не припускаємо, що окремі невизначені просторові зв'язки описуються нормальними розподілами. Ми оцінюємо перші два центральні моменти їх розподілу і використовуємо нормальний розподіл лише тоді, коли нам потрібно обчислити конкретні контури ймовірності.

На рисунках лінія представляє фактичне відношення між двома об'єктами (розташованими в кінцевих точках). Інформація про пристрій відображається еліпсами, які намальовані в центрі оцінюваного середнього співвідношення, і таким чином, що вони охоплюють 99,9% перевіреної

області (близько чотирьох стандартних відхилень) для відносин. Середня точка сама по собі не показана.

Побачивши, як ми представляємо невизначені просторові співвідношення за допомогою оцінок середнього та коваріаційного вектора стану системи, розробимо методи оцінки перших двох моментів невідомих багатоваріантних розподілів ймовірностей.

## 2.4 Створення карти

Першими двома моментами, обчисленими формулами, наведеними нижче для нелінійних співвідношень на випадкових змінних, стануть оцінки першого порядку справжніх значень. Для обчислення фактичних значень потрібні знання повної функції щільності ймовірності просторових змінних, яка зазвичай не буде доступною в застосунку.

Звичайний підхід полягає в наближенні нелінійної функції

$$y = f(x)$$

шляхом розширення ряду Тейлора приблизно передбачуваної середньої величини  $\hat{x}$ , що дає:

$$y = f(\hat{x}) + F_x(x - \hat{x}) + \dots,$$

де  $F_x$  – матриця часткових похідних чи матриця Якобі,  $f$  обчислюється при  $\hat{x}$ :

$$F_x \triangleq \frac{\partial f(x)}{\partial x} (\hat{x}) \triangleq \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial x_n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f_r}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial f_r}{\partial x_n} \end{bmatrix}_{x=\hat{x}}$$

Ця термінологія – це розширення термінології  $f_x$  від скалярного обчислення до векторів. Матриці Якобі завжди передбачають обчислення з прогнозованим середнім значенням вхідних змінних.

Запобігання розширення для  $y$  після лінійного члена і прийняття очікування дає лінійну оцінку середнього значення  $y$ :

$$\hat{y} \approx f(\hat{x})$$

1)

Аналогічно оцінка першого порядку коваріацій

$$\begin{aligned} C(y) &\approx F_x C(x) F_x^T, \\ C(y, z) &\approx F_x C(x, z), \\ C(z, y) &\approx C(z, x) F_x^T. \end{aligned} \quad 2)$$

Звичайно, якщо функція  $f$  лінійна, то  $F_x$  є постійною матрицею, і перші два центральні моменти багатofакторного розподілу у обчислюються точно, задавши правильні центральні моменти для  $x$ . Далі, якщо  $x$  дотримується нормального розподілу, то  $y$  дотримується також.

Розглянемо просторові операції, необхідні для зменшення послідовних ланцюгів координат зв'язків між об'єктами до деякого результуючого (неявного) взаємозв'язку, що становить інтерес: складання та перетворення.

З огляду на два просторові відношення,  $x_2$  та  $x_{21}$ , як на рисунку 2.4, при другому, описаному відносно першого, ми хочемо обчислити результуючу залежність. Позначимо цю двійкову операцію через  $\oplus$  і назвемо її складаючою.

В іншій ситуації можливо необхідно обчислити  $x_{21}$ . Видно, що  $x_2$  і  $x_1$  не в потрібній формі для складання. Спершу треба обернути вектор  $x_2$  (виробляючи  $x_{20}$ ). Позначимо цю унарну обернену операцію і назвемо її оберненням.

Об'єднування операцій обернення та складання, використовуваних при обчисленні  $x_{21}$ , є дуже поширеним, оскільки це дає розташування одного об'єкта відносно іншого, коли обидва описуються загальною посиланням.

Ці три формули:

$$\begin{aligned} x_{ik} &\triangleq f(x_{ij}, x_{ik}) \triangleq x_{ij} \oplus x_{jk} \\ x_{ji} &\triangleq g(x_{ij}) \triangleq \ominus x_{ij} \\ x_{jk} &\triangleq h(x_{ij}, x_{ik}) \triangleq f(g(x_{ij}), x_{ik}) \triangleq \ominus x_{ij} \oplus x_{ik} \end{aligned}$$

Використовуючи (1), оцінка першого порядку середньої операції суміші становить:



$$\hat{x}_{ik} \approx \hat{x}_{ij} \oplus \hat{x}_{jk}$$

Також, з (2), оцінка коваріації першого порядку:

$$C(x_{ik}) \approx J_{\oplus} \begin{bmatrix} C(x_{ij}) & C(x_{ij}, x_{jk}) \\ C(x_{jk}, x_{ij}) & C(x_{jk}) \end{bmatrix} J_{\oplus}^T$$

Де матриця Якобі операції складання,  $J_{\oplus}$  задається:

$$J_{\oplus} \triangleq \frac{\partial(x_{ij} \oplus x_{jk})}{\partial(x_{ij}, x_{jk})} = \frac{\partial x_{ik}}{\partial(x_{ij}, x_{jk})} = [J_{1\oplus} \quad J_{2\oplus}]$$

Квадратні підматриці,  $J_{1\oplus}$  та  $J_{2\oplus}$ , - ліва і права половини складової матриці Якобі. Перші два моменти функції розвороту можна оцінити аналогічно, використовуючи його яacobійський, Дж. Формули для складання та перетворення та їх яacobійці наведено за трьома ступенями свободи у Додатку А. Формули шести ступенів свободи наведені в [15]. Середнє значення складеного відношення, обчислене  $h()$ , можна оцінити, застосувавши інші операції:

$$\hat{x}_{jk} = \hat{x}_{ji} \oplus \hat{x}_{ik} = \ominus \hat{x}_{ij} \oplus \hat{x}_{ik}$$

Матриця Якобі може бути обчислена ланцюговим правилом як:

$$\begin{aligned} \ominus J_{\oplus} &\triangleq \frac{\partial x_{jk}}{\partial(x_{ij}, x_{jk})} = \frac{\partial x_{jk}}{\partial(x_{ji}, x_{ik})} \frac{\partial(x_{ji}, x_{ik})}{\partial(x_{ij}, x_{ik})} = \\ &= J_{\oplus} \begin{bmatrix} J_{\ominus} & 0 \\ 0 & I \end{bmatrix} = [J_{1\oplus} J_{\ominus} \quad J_{2\oplus}] \end{aligned}$$

Розрахунок правил ланцюга Якобі застосовується до будь-якої кількості композицій основних відносин, так що довгі ланцюги відносин можуть рекурсивно скорочуватися. Може здатися, що проводиться обчислення оцінки першого порядку оцінок першого порядку, але насправді ця рекурсивна процедура дає точно такий же результат, як і обчислення оцінки першого порядку складеного відношення. Це відрізняється від методів min-max, які роблять консервативні оцінки на кожному кроці і, таким чином, дають дуже консервативні оцінки складеного співвідношення.

Зараз ми розробили достатню техніку для опису процедури оцінки взаємозв'язків між об'єктами, які є на нашій карті. Карта містить, за визначенням, оцінки розташування об'єктів відносно світового кадру; ці відносини можна зчитувати з оціночної матриці середнього вектора та коваріації безпосередньо. Інші відносини є неявними, і їх слід витягувати, використовуючи методи, розроблені в попередніх розділах. Для будь-яких співвідношень змінних на карті ми можемо написати:

$$y = g(x)$$

де функція  $g()$  є загальною (не функцією, описаною в попередньому розділі). На основі всіх доказів на карті, середня оцінка та коефіцієнт взаємозв'язку наведені:

$$\begin{aligned}\hat{y} &\approx g(\hat{x}), \\ C(y) &\approx G_x C(x) G_x^T\end{aligned}$$

#### Висновки до розділу

У даному розділі було сформульовано вимоги до методів позиціонування, а саме робота з неточними даними сенсорів, навігація у відносній координатній системі та синхронізація з абсолютним позиціонуванням.

Було ретельно розглянуто модель SLAM, яка може бути використана як базис для подальшої оптимізації. Цей підхід відповідає сформульованим вимогам.

### 3 РОЗРОБЛЕНІ МЕТОДИ

У даному розділі розглянуто методи оптимізації позиціонування та навігації у застосунках доповненої реальності, розроблені на основі досліджень і обґрунтувань попередніх розділів.

#### 3.1 Методи оптимізації позиціонування

Серед розглянутих методів теоретичної оптимізації розглянемо наступні:

- GPS;
- IPS.

Обидва методи працюють на мобільних пристроях, але в кожного з них є свої недоліки. Підхід з GPS погано працює в умовах густонаселених міст та за перешкодами, такими як будівлі та гори. У IPS основний недолік це необхідність в додатковій периферії.

Виходячи з цього необхідно створити метод позиціонування, який буде поєднувати в собі переваги та компенсувати недоліки описаних вище методів.

#### 3.2 Критерій оптимізації

Критерієм оптимізації для позиціонування є саме точність позиціонування. Також можна виділити критерій швидкості налаштування на відтворення досить точної геопозиції.

Для вимірювання точності необхідно вирахувати дистанцію між очікуваною позицією та позицією в доповненій реальності в метрах.

Критерій швидкості налаштування – це час необхідний системі для повноцінної роботи функції позиціонування.

#### 3.3 Метод оптимізації шляхом додавання візуальних маркерів

Сучасні AR фреймворки мають можливість знаходити та відстежувати місцезнаходження відсканованого зображення, ця техніка називається Image Tracking.

Алгоритм продемонстровано у графічному матеріалі до магістерської дисертації як «Схема методу оптимізації передачі даних з використанням геомаркерів».

Таким чином позиціонування користувача повинно відбуватись за наступною схемою:

- а) Ініціалізація приблизного місцезнаходження пристрою за допомогою GPS;
- б) Застосунок повинен вказати на найближчий до користувача маркер;
- в) Користувач знаходить маркер і сканує його за допомогою камери;
- г) Застосунок синхронізується по маркеру і використовує його як опорну точку для SLAM.

Для коректної роботи методу необхідно розробити маркер, який буде відповідати вимогам Image Tracking [17].

Повторні візерунки демонструють однакову графічну інформацію в кожній точці ознаки, і тому їх неможливо надійно локалізувати.

Зображення зі злегка нерегулярними структурами можуть передавати подібну інформацію цільовій аудиторії, надаючи достатньо унікальних точок функції, які можна буде виявити. Приклад зображено на рисунку 3.1.

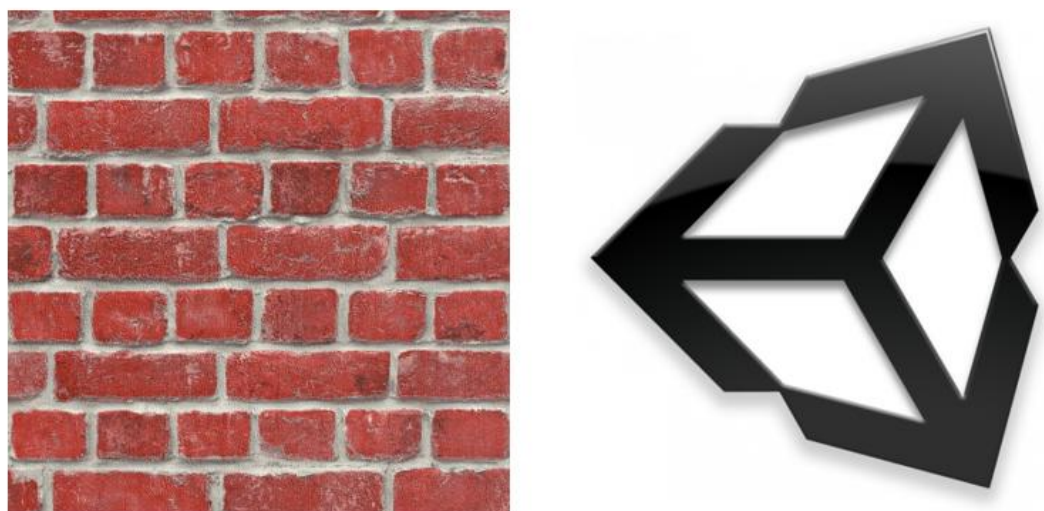


Рисунок 3.1 – Повторні візерунки та унікальне зображення

Зображення з високим локальним контрастом та великою кількістю насичених текстурованих областей найкраще підходять для надійного виявлення та відстеження.

Контраст кольорів (наприклад зелений до червоного) представляється лише високим контрастом для людського ока, але не є дискримінаційним для алгоритмів комп'ютерного бачення, оскільки вони працюють з чорно-білими зображеннями. Приклад зображено на рисунку 3.2.



Рисунок 3.2 – Зображення з низьким та високим контрастом

Зображення з рівним співвідношенням сторін (близько 1: 1) є ідеальною пропорцією для оптимальних результатів AR.

Інші співвідношення сторін, такі як 3: 4, 2: 3 до 16: 9, однак, також будуть добре працювати.

Панорамні зображення або інші зображення з надзвичайними співвідношеннями сторін, з іншого боку, не забезпечать оптимальну ефективність відстеження. Приклад зображено на рисунку 3.3.



Рисунок 3.3 – Панорамне та квадратне зображення

Зображення розміром від 500 до 1000 пікселів у кожному напрямку (ширині чи висоті) знаходяться в оптимальному діапазоні для досягнення високопродуктивного розпізнавання та відстеження.

Менші зображення не містять достатньо графічної інформації для вилучення так званих функціональних точок, а більші зображення не покращують якість відстеження. Унікальність, кількість та розподіл характеристичних точок є ключовими показниками для хорошої якості виявлення та відстеження. Приклад зображено на рисунку 3.4.

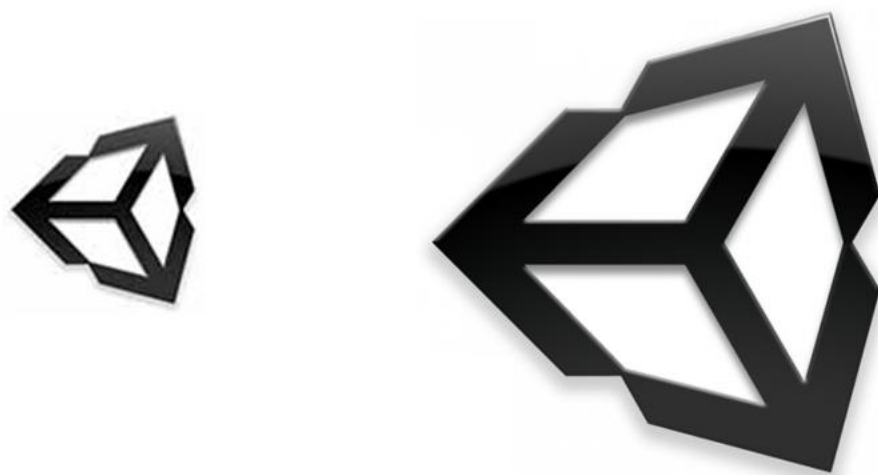


Рисунок 3.4 – Зображення з низьким та високим розширенням

Виходячи з цього був розроблений геомаркер, який відповідає потребам відстеження зображень (див. рисунок 3.5).

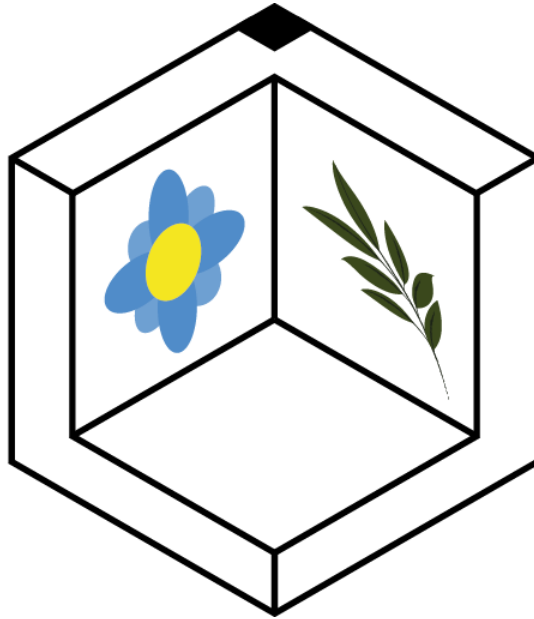


Рисунок 3.5 – Маркер для синхронізації позиції

Вбудовані в ARFoundation засоби для відстеження зображень досить непогано працюють зі створеним маркером. Однак в маркері бракує інформації про його геопозицію. Тому необхідно якось відрізнити маркери.

Розглянемо наївний підхід. Для кожного геомаркера можна створити своє зображення та додавати його в бібліотеку відстеження зображень. Такий підхід має ряд недоліків. По-перше необхідно створювати кожен раз маркер, який повинен відповідати рекомендаціям відстеження зображень та одночасно несхожим на попередні маркери. По-друге такий підхід має додаткові апаратні навантаження, тому AR фреймворки мають певні обмеження на розмір бібліотеки відстеження зображень.

Інший підхід базується на додатковому використанні вбудованого GPS. Для цього підходу необхідно зберігати данні геомаркерів на сервері. Для того щоб дістати геопозицію необхідно сканувати маркер та відправити свою геопозицію на сервер, а сервер поверне метадані найближчого маркера. Проблема такого підходу в тому, що у випадку коли маркери знаходяться неподалеку одне від одного, то сервер може повернути невірний маркер. Для

того щоб цей підхід працював необхідно розміщувати маркери не ближче один до одного, ніж радіус відхилення GPS у тій області.

Альтернативним рішенням може бути використання додаткових даних в самому маркері. Прикладом може бути QR код, який зберігає в собі геоданні. Прикладом даних для кодування може бути такий JSON об'єкт:

```
{  
  "lat": 52.1000,  
  "lon": 56.1231,  
  "isGround": true,  
}
```

Після кодування можна отримати відповідний QR код (див. рисунок 3.6)



Рисунок 3.6 – QR код що містить дані про геопозицію

Отже отримуємо комбінований маркер з QR кодом зображено на рисунку 3.7.



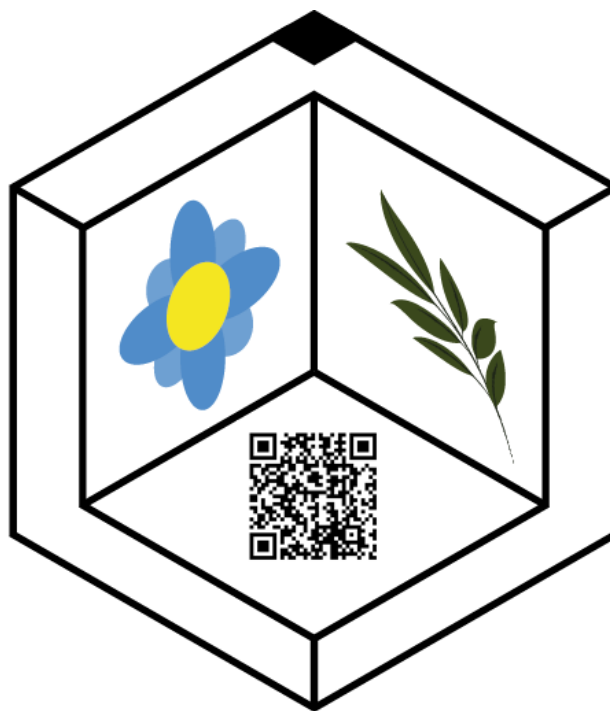


Рисунок 3.7 – Фінальний геомаркер

#### Висновки до розділу

У даному розділі було розроблено алгоритми і схеми методів оптимізації позиціонування у застосунках доповненої реальності на основі проведених досліджень і аналізу джерел.

Було сформульовано критерій оптимізації і обрано метод перевірки виконання критерію оптимізації.

Також було розроблено прототип геомаркеру, який є невід’ємною складовою функціонування розробленого методу.

## 4 ПРОГРАМНА АРХІТЕКТУРА ТА РОЗРОБКИ ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ

У даному розділі було розглянуто програмну архітектуру і використані інструменти для реалізації програмного забезпечення.

### 4.1 Огляд загальної архітектури системи

Проектована система має архітектуру клієнт-сервер. Серверний застосунок використовується найбільше для зберігання файлів, що передаються на клієнтський застосунок і надає відповідне API для доступу до файлів, а також має шар API аналітики і автентифікації користувача. Клієнтом виступає кросплатформений мобільний застосунок для мобільних платформ iOS і Android. На стороні клієнта програмно застосовано розроблені методи.

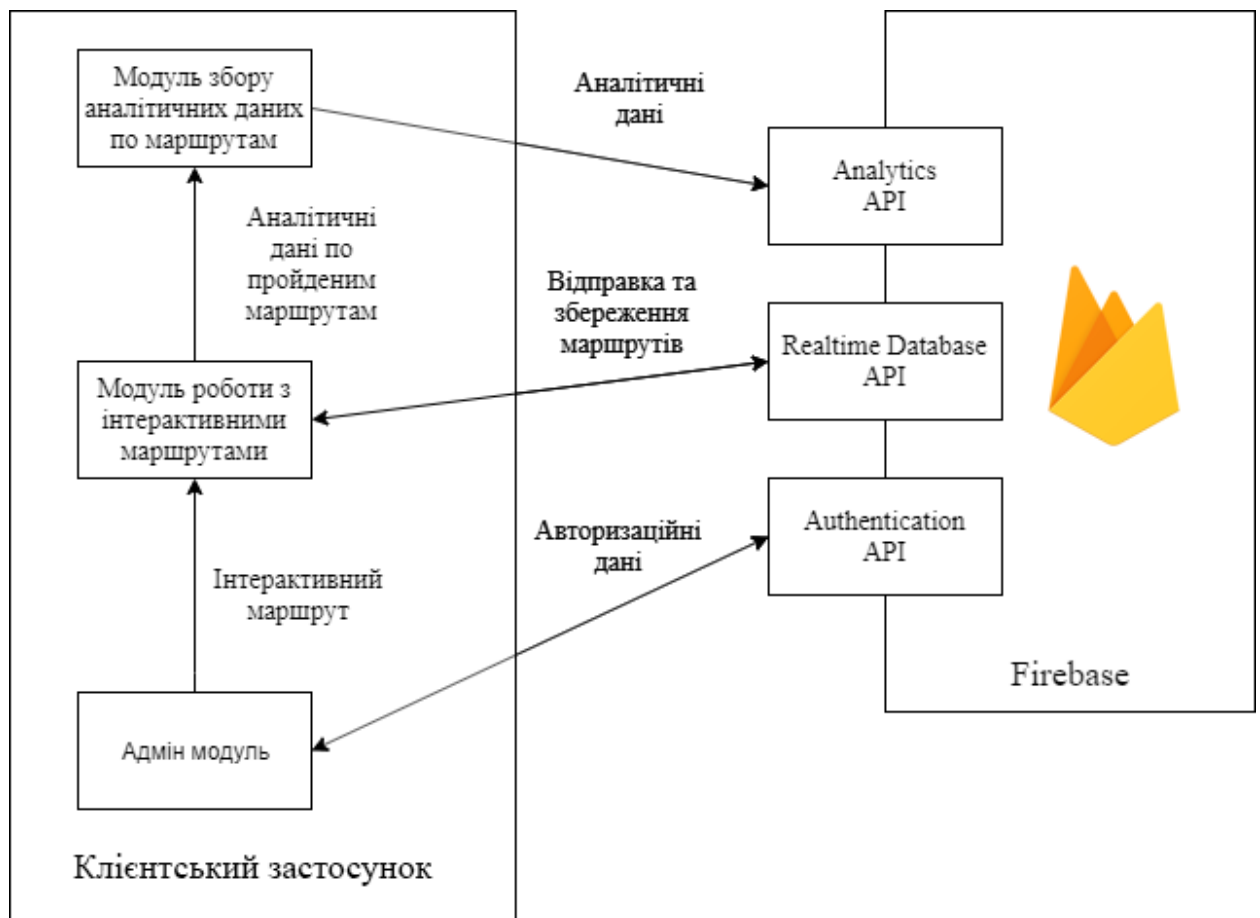


Рисунок 4.1 – Схема архітектури програмного забезпечення

## 4.2 Огляд використаних інструментів

Як рішення для тестування клієнт-серверної взаємодії у якості хмарного сховища об'єктів та збору аналітичних даних було обрано платформу Firebase. [10]

Для розробки кросплатформеного AR застосунку існує два найбільш популярних варіанта ігрових рушіїв, це Unity та Unreal Engine 4.[18]

Unity – це кросплатформений ігровий рушій, розроблений Unity Technologies. Станом на 2018 рік, рушій був розширений для підтримки понад 25 платформ. Його можна використовувати для створення тривимірних, двовимірних, VR та AR ігор, а також для моделювання та іншого досвіду. [19] Рушій використовується у галузях, що не входять до розробки ігор, таких як кіно, автомобілебудування, архітектура, інженерія та будівництво. Мова програмування C#.

Unreal Engine 4 – це також кросплатформений ігровий рушій розроблений компанією Epic Games. Якість графіки та внутрішня оптимізація краща ніж в Unity, однак необхідно писати на розширеній мові програмування C++, що ускладнює розробку тому що, C++ досить низькорівнева мова програмування, а розширення її в Unreal Engine 4 доволі специфічне і потребує додаткового часу для освоєння. Виходячи з цього було обрано Unity створення прототипу застосунку.

Unity для застосунків доповненої реальності використовує всередині нативні AR фреймворки для Android це ARCore [20], а для iOS – ARKit [21].

ARCore - платформа Google для створення досвіду доповненої реальності. Використовуючи різні API, ARCore дозволяє телефону користувача відчувати своє оточення, зрозуміти світ та взаємодіяти з інформацією. API ARCore доступне для Android та iOS, щоб забезпечити спільний доступ до AR, як нативним чином, так і у кросплатформених рішеннях, таких як Unity.

Технологія відстеження руху ARCore використовує камеру телефону для виявлення у просторі точок взаємодії, так званих feature, та відстеження,

як ці точки рухаються з часом. За допомогою поєднання руху цих точок та показань з інерційних датчиків телефону ARCore визначає як положення, так і орієнтацію телефону під час руху по простору.

Окрім визначення ключових моментів, ARCore може виявляти плоскі поверхні, як стіл або підлогу, а також може оцінювати середнє освітлення навколо поверхні. Ці можливості поєднуються, щоб ARCore був спроможний побудувати своє власне розуміння навколишнього світу. [22]

ARKit – це інструмент для створення досвіду доповненої реальності від Apple. У першій версії ARKit була можливість відстежувати переміщення телефону в просторі, визначати кількість і теплоту світла навколо, а також отримувати інформацію про горизонтальних площинах. У ARKit 1.5, який вийшов разом з iOS 11.3, поліпшили якість зображення, додали визначення вертикальних площин, розпізнавання статичних 2D-зображень і автофокус. У поточній версії ARKit 2.0. розробникам надано можливість зберігати карту оточення разом з розставленими об'єктами доповненої реальності. Маючи карту, можна ініціалізувати за допомогою неї AR-сесію, після чого раніше розставлені об'єкти з'являться в потрібних місцях. Збережену карту також можна передати на сервер і використовувати на інших пристроях. Механізм збереження карти оточення дозволив синхронізувати систему координат між кількома пристроями. Знаючи положення кожного з пристроїв щодо карти оточення, можна побудувати багато користувачів сценарії. У другій версії обмеження знято, і тепер можна отримувати координати зображень, що переміщуються. Також ARKit 2.0 дозволяє підтримку розпізнавання статичних 3D-об'єктів. Перед розпізнаванням об'єкт потрібно відсканувати. Додано механізми відстеження обличчя людини, зокрема погляду і направленої світла. [23] Нажаль, ARKit можна використовувати лише для мобільних пристроїв iPhone.

Для поєднання переваг засобів ARKit і ARCore, а також кросплатформеності рішення, було використано AR Foundation.[24]

AR Foundation – це спроба Unity по об'єднанню розробки застосунків доповненої реальності для мобільних пристроїв, який пропонує загальний API, що підтримує основні функціональні можливості як для ARCore, так і для ARKit. AR Foundation пропонує розробникам наступні можливості:

- а) виявлення площин (вертикальне та горизонтальне): виявляє реальні об'єкти, такі як підлоги, верхівки столів, стіни та будує сітки площини, щоб представити їх у режимі реального часу;
- б) хмара точок: Індивідуальні орієнтири, які використовуються для генерації площин;
- в) оцінка світла: оцінка освітлення в приміщенні, щоб здійснити відповідне освітлення віртуальних об'єктів;
- г) raycasting (механізм променів): промінь, що направляється на площини та віртуальні об'єкти. [25]

На рисунку 4.2 наведено порівняння технологій AR Foundation, ARCore та ARKit. [26]

Supported Feature	AR Foundation	Google ARCore SDK for Unity	Unity ARKit Plugin
Plane Detection (Vertical)	✓	✓	✓
Plane Detection (Horizontal)	✓	✓	✓
Feature Point Detection	✓	✓ + Oriented Feature Points	✓
Light Estimation	✓	✓ + Color Correction	✓ + Color Temperature
Hit Testing (Feature point and Plane raycasting)	✓	✓	✓
Image Tracking	in development	✓ (Static Only)	✓
3D Object Tracking	in development		✓
Environment Probes	in development		✓
World Maps	✓		✓
Face Tracking (Pose, Mesh, Blendshapes)	✓		✓ iPhone X + Variants Only
Cloud Anchors	in development	✓	
Editor Remoting	in preview	✓ - Instant Preview	✓ - ARKit Remote
Editor Simulation	in preview		
LWRP support (+ Shader Graph*)	3.3.0 supported	in development	in development
Camera Image API	✓		

Рисунок 4.2 – Порівняння засобів побудови доповненої реальності

#### Висновки до розділу

Було обрано архітектурні рішення для побудови програмного забезпечення, що буде використовувати розроблені методи оптимізації позиціонування об'єктів у доповненій реальності.

Було проведено аналіз існуючих фреймворків для побудови досвіду доповненої реальності, проаналізовано їх особливості. Було вирішено

використовувати кросплатформені рішення AR Foundation для створення досвіду доповненої реальності для платформ iOS і Android одночасно.

## 5 ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ

У даному розділі описано експериментальне дослідження ефективності розроблених методів.

### 5.1 Тестування програмного забезпечення

Для тестування програмного забезпечення було розроблено тест-сценарії, які описано у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Тестові сценарії для експериментальної перевірки методів оптимізації передачі даних

Сценарій тестування	Кроки тестування	Очікуваний результат
ТС-1: Використання GPS на вулиці	1. Налаштувати підключення до мережі інтернет. 2. Включити GPS сервіс 3. Завантажити тестовий маршрут для вулиці. 4. Пройти вздовж маршруту слідуючи вказівкам застосунку. 5. Виміряти відстань між точкою куди вказує застосунок и справжньою точкою.	1. Застосунок завантажує і запускає слідування по маршруту. 2. Здійснено заміри різниці дистанції між оригінальною точкою і точкою, куди веде застосунок. Залежно від місця проведення тестування, очікуються середня різниця до 15 метрів.
ТС-2: Використання комбінованого методу на вулиці	1. Налаштувати підключення до мережі інтернет. 2. Включити GPS сервіс 3. Завантажити	1. Застосунок завантажує і запускає слідування по маршруту. 2. Здійснено заміри різниці дистанції між



	<p>тестовий маршрут для вулиці.</p> <p>4. Просканувати маркер на початку маршруту.</p> <p>5. Пройти вздовж маршруту слідуючи вказівкам застосунку.</p> <p>6. Виміряти відстань між точкою куди вказує застосунок и справжньою точкою.</p>	<p>оригінальною точкою і точкою, куди веде застосунок. Очікуються середня різниця до 2 метрів.</p>
<p>ТС-3: Використання GPS в приміщенні</p>	<p>1.Налаштувати підключення до мережі інтернет.</p> <p>2. Включити GPS сервіс</p> <p>3. Завантажити тестовий маршрут для приміщення.</p> <p>4. Пройти вздовж маршруту слідуючи вказівкам застосунку.</p> <p>5. Виміряти відстань між точкою куди вказує застосунок и справжньою точкою.</p>	<p>1. Застосунок завантажує і запускає слідування по маршруту.</p> <p>2. Здійснено заміри різниці дистанції між оригінальною точкою і точкою, куди веде застосунок. Очікується великий скачок в дистанції 30 – 120 метрів.</p>

## Продовження таблиці 5.1

ТС-4: Використання комбінованого методу в приміщенні	1. Налаштувати підключення до мережі інтернет. 2. Включити GPS сервіс 3. Завантажити тестовий маршрут для приміщення. 4. Просканувати маркер на початку маршруту. 5. Пройти вздовж маршруту слідуючи вказівкам застосунку. 6. Виміряти відстань між точкою куди вказує застосунок и справжньою точкою.	1. Застосунок завантажує і запускає слідування по маршруту. 2. Здійснено заміри різниці дистанції між оригінальною точкою і точкою, куди веде застосунок. Очікуються середня різниця до 2 метрів.
--	---	--

Для тестування було використано два маршрути на території КПІ поруч з 18 корпусом та всередині.

## 5.2 Результати експерименту

У рамках експерименту було здійснено відповідні заміри похибки позиціонування із використанням методів оптимізації та без них в різних зовнішніх умовах. Результати експерименту продемонстровано на рисунках 5.1, 5.2.

Порівняння ефективності вбудованих сенсорів і власного методу (на вулиці)



Рисунок 5.1 – Результат виконання сценарію ТС-1 ТС-2

Порівняння ефективності вбудованих сенсорів і власного методу (приміщення)

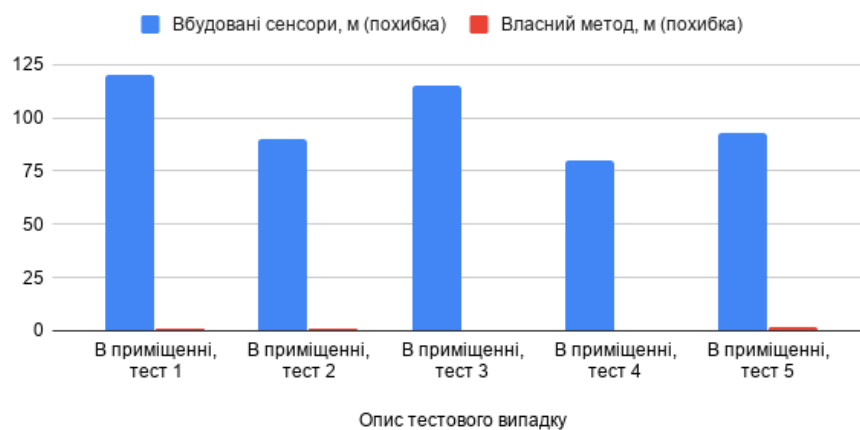


Рисунок 5.2 – Результат виконання сценарію ТС-3, ТС-4

### Висновки до розділу

Було проведено експериментальне дослідження ефективності розробленого методу оптимізації позиціонування у AR середовищі. Було проведено 4 тест-сценарії, у результаті яких було доведено ефективність розробленого методу

Результати тестових сценаріїв ТС-1 і ТС-3 демонструють очікувану похибку та досить великий розкид. Результати на вулиці сягають до 30 метрів розкиду в гіршому випадку, в той час як в приміщенні похибка може складати 70 – 120 метрів, що зовсім не відповідає сучасним потребам

застосунків доповненої реальності. Таким чином експериментально продемонстровано доцільність використання GPS тільки як допоміжний засіб для позиціонування у застосунках доповненої реальності.

Результати тестових сценаріїв ТС-2 і ТС-4 демонструють оптимальний розкид та мінімальну похибку. Таким чином, використовуючи комбінований метод застосунок може розміщувати об'єкти з похибкою не більше метру, а користувач застосунку отримує хороший досвід користування. Таким чином експериментально продемонстровано доцільність використання покращеного комбінованого методу позиціонування у AR застосунках.

## 6 БІЗНЕС ПЛАН ІННОВАЦІЙНОГО ПРОЕКТУ

Ідея проекту полягає у розробці методів та створенні програмних засобів позиціонування об'єктів доповненої реальності. Таке програмне забезпечення стане у пригоді при організації систем навігації, туризму та екскурсій, а також в ігровій індустрії.

### 6.1 Опис ідеї стартап-проекту

Проаналізуємо зміст ідеї, її можливі напрямки застосування, відмінності від існуючих аналогів, а також основні вигоди, які може отримати користувач товару.

Результати аналізу представлені у таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Створення програмних засобів позиціонування об'єктів доповненої реальності	Використовувати для доступу до інформаційних дисплеїв у режимі реального часу щодо місцеположення, його особливостей та коментарів, наданих попередніми відвідувачами.	Компанії можуть використовувати AR для залучення туристів до певних районів, які їм, можливо, не відомі по імені.
	Програми AR, пов'язані з географічним розташуванням, представляють про дані місцезнаходження користувача.	

Продовження таблиці Таблиця 6.1

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
	AR може підвищити ефективність навігаційних пристроїв.	Інформація може відображатися на лобовому склі автомобіля із зазначенням напрямків призначення та вимірювача, погоди, місцевості, дорожнього стану та інформації про дорожній рух, а також попередження про потенційні небезпеки на їх шляху.

На ринку існують аналоги подібних систем, але більшість з них розробляються лише для вирішення відповідної конкретної задачі. Аналоги на території країн СНГ, надто вартісні або за зменшеним функціоналом, а до деяких з них немає доступу без оплати підписки. До того ж розроблена автоматизована програмна система спроектована під цільову аудиторію вітчизняного ринку.

Тому доцільно проводити аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї порівняно з пропозиціями конкурентів. [27,28]

Результат аналізу у таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 – Визначення характеристик ідеї продукту

Техніко- економічні характеристики ідеї	Продукція конкурентів		Слабкі (W), нейтральні (N) та сильні (S) сторони		
Назва продукту	Pokemon GO	The Walking Dead: Our World			
Операційна система та версії	Android 0.91.1, iOS 1.61.1	Android, iOS 5.0+		x	
Системні вимоги	Android 4.4+, iOS 8+ Розмір екрану 720 × 1280 пикселів (не оптимізовано під планшет) ОЗУ 1 ГБ або більше iPhone 5+ Інтернет з'єднання : 3G, 4G або Wi-Fi GPS Гіроскоп (для доповненої реальності)	Підключення до мережі Інтернет. Потрібно вільного місця 97 Mb.		x	

## Продовження таблиці 6.2

Техніко- економічні характеристики ідеї	Продукція конкурентів		Слабкі (W), нейтральні (N) та сильні (S) сторони		
	С# (Unity)	С# (Unity)		х	
Мови програмування					
Необхідність встановлення додаткового ПЗ	Так, необхідне додаткове скачування та встановлення	Так, необхідне додаткове скачування та встановлення			х

Програмний код проектованої системи буде доступний у відкритому репозиторію, потребуватиме підготовки середовища на пристрої перед запуском, потребуватиме підключення до мережі Інтернет.

Перевагами даної розробки є те, що більшість подібних програмних застосунків в світі створені для виключно комерційних цілей, ціни на такі програмні засоби зависокі, а також вони потребують постійної підтримки з боку сертифікованих спеціалістів.

## 6.2 Технологічний аудит ідеї проекту

Для проведення технічного аудиту ідеї проекту, потрібно провести аудит технологій, за допомогою яких можна реалізувати ідею проекту. І для початку потрібно визначити можливість технологічної здійсненності проекту. Результат представлений у таблиці 6.3.



Таблиця 6.3 – Технологічна здійсненність ідеї проекту

Ідея проекту	Технології для реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
Створення програмних засобів позиціонування об'єктів доповненої реальності	Мова програмування C#, Unity, AR foundation, Mapbox	Наявні	Доступні безкоштовно, окрім Mapbox (Pay as you go)

Обрана технологія доступна, не потребує доробки, а також безкоштовна та надає усі необхідні можливості для реалізації поставленої задачі. Для розробки з використанням даної технології бажано мати машину з операційною системою Windows або Mac OS для можливості встановлення робочого середовища Unity.

### 6.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Визначення ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту, дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів. Для цього спочатку проводиться аналіз попиту (таблиця 6.4).

Таблиця 6.4 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

Показники стану ринку	Характеристика
Загальна потреба в продукції	Необхідна, але багатьма не признається (через фінансові вигоди)
Можливі річні обсяги випуску в натуральних показниках	5 000 цифрових копій

Ціна одиниці продукції	\$20 (одноразова покупка)
------------------------	---------------------------

Продовження таблиці – 6.4

Показники стану ринку	Характеристика
Річні обсяги випуску в вартісних показниках	До \$100 000
Динаміка ринку(якісна оцінка)	Зростає
Наявність обмежень для входу	Нестабільність технологій
Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Для ПЗ відсутні.
Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку)	87.2%

Надалі визначаються потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формується орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (таблиця 6.5).

Після визначення потенційних груп клієнтів проводиться аналіз ринкового середовища: складаються таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають. Результати представлені у таблицях 6.6 та 6.7 відповідно.

Після аналізу конкуренції проводиться більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі (таблиця 6.9) - за моделлю п'яти сил М. Портера, яка вирізняє п'ять основних факторів, що впливають на привабливість вибору ринку з огляду на характер конкуренції:

- конкурент, що вже є у галузі;
- потенційні конкуренти;
- наявність товарів-замінників;
- постачальники, що конкурують за ринкову владу;
- споживачі, які конкурують за ринкову владу.

Таблиця 6.5 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія	Особливості поведінки споживачів	Вимоги споживачів до товару
Побудова маршрутів для туризму	Туристи	Даній групі необхідно забезпечити точність та надійний результат показаного маршруту, також застосунок має працювати надійно.	-безперебійна робота; - Точність обраного маршруту; - Надійність обраного маршруту;
Інтерактивні сцени та ігри у доповненій реальності	Діти та підлітки	Даній групі необхідно забезпечити точність та швидкість виведення зображення на екран, також застосунок має працювати надійно.	- Легкість та сприйняття інформації - Стабільна робота застосунку - Якість отриманого зображення

Таблиця 6.6 – Фактори загроз

Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
Поява конкурентів	Можлива поява конкурентів, які спроможуться створити повний продукт. Можлива поява більш дешевих продуктів.	Зменшення ціни з підвищенням якості при цьому, розробка удосконалень, розширення функціоналу, розробка нових маркетинг-проектів.
Зміни тенденцій ринку	Можлива ситуація, в якій з'явиться більш досконала програмна система від конкурентів, які значно довше на ринку.	Розробка нових сучасних необхідних удосконалень, тобто додання або заміна старого функціоналу на можливості розрахунку нових параметрів.
Зниження репутації компанії	Можлива ситуація, коли конкуренти спроможуться на більший попит.	Зміна партнерів, заключення нових контрактів, проведення рекламних та промо-акцій.
Економічний спад	Відсутність попиту на товар компанії через економічну складову.	Збільшення обсягів продажів, зменшення ціни; зміна цільової аудиторії.

Таблиця 6.7 – Фактори можливостей

Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
Невелика кількість конкурентів	На ринку на сьогоднішній день значна кількість конкурентів, проте їх програмні продукти в переважній більшості вузько спеціалізовані або мають іншу локалізацію.	Розповсюджувати створений продукт, розвивати його можливості серед місцевих користувачів.
Відповідні тенденції ринку	ІТ-ринок на сьогоднішній день потребує, а відповідно і надає всі можливості для впровадження систем, які даватимуть можливість користувачам планувати маршрути у доповненій реальності.	Розповсюджувати створений продукт, розвивати його можливості, додавати новий функціонал.
Можливість побудови власної репутації	Новий «гравець» на ринку має всі можливості для побудови власної репутації з «чистого листка»	Пошук замовників, можливих покупців створеного продукту, розширення бази замовників. Зарекомендувати себе, як надійну компанію. Можливо на вигідних умовах співпраці.

Надалі проводиться аналіз пропозиції – визначаються загальні риси конкуренції на ринку(таблиця 6.8): визначаються тип можливої майбутньої конкуренції та її інтенсивність, рівень конкурентоспроможності за рівнем конкурентної боротьби, видами товарів і галузевою ознакою.

Таблиця 6.8 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	У чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства(можливі дії компанії)
Тип конкуренції	Залежить від кількості конкурентів та якості надання ними послуг у порівнянні за послугами компанії.	Покращення власного продукту через зниження ціни та підвищення якості.
За рівнем конкурентної боротьби	Локальна конкуренція на вітчизняному ринку, світова конкуренція.	На вітчизняному ринку конкурентів мало, а тому встановлення власної бажаної ціни, та набирати клієнтську базу. Перспектива – вихід на міжнародний рівень.
За галузевою ознакою	Загальногалузева Продукт може бути використаний у різних сферах діяльності.	Немає можливостей та сенсу розширювати функціонал за межі ІТ-сфери, але все ще існує багато варіантів

		розвиватись всередині неї.
--	--	----------------------------

Продовження таблиці 6.8

Конкуренція за видами товарів	Марки-конкуренти Створений товар може мати конкурентів, які пропонують аналогічний товар	Зниження ціни, розширення Функціональних можливостей
За характером конкурентних переваг	Цінова Важливо за скільки продається товар, та скільки з нього прибутку	Можливе підвищення ціни на новий функціонал, зниження ціни на старі версії для заохочення покупців у порівнянні з цінами конкурентів.
За інтенсивністю	Марочна Можуть з'являться конкуренти.	При виході на ринок потрібно рекламувати кращий функціонал створеного продукту, встановлювати конкурентоспроможні ціни, та доводити свою надійність.

На основі аналізу конкуренції, проведеного у таблиці 6.9, а також із урахуванням характеристик ідеї проекту (таблиця 6.2), вимог споживачів до товару (таблиця 6.5) та факторів маркетингового середовища (таблиці 6.6 і 6.7) визначається та обґрунтовується перелік факторів



конкурентоспроможності. Аналіз оформлюється за таблицею 6.9, обґрунтування факторів за таблицею 6.10.

За визначеними факторами конкурентоспроможності проводиться аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту.

Таблиця 6.9 – Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Клієнти	Товари замітники
Складові галузі	Розробники аналогічних систем	Кращі продукти, менші ціни	Мають найбільше значення. Більш важлива їх кількість, аніж постійна співпраця	Відсутні. Є лише конкуренти аналогічних розробок
Висновки	Інтенсивність конкурентної боротьби з боку прямих конкурентів незначна	Наявні усі можливості входу на ринок. Потенційні конкуренти не виявлені. Строки виходу на ринок – декілька місяців	Необхідність клієнтської-бази, тому важливо знаходити можливості приваблення споживачів до власного продукту	Немає обмежень

Таблиця 6.10 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування
Невелика кількість конкурентів на ринку	На вітчизняному ринку, на який для старту націлена розроблена система, конкурентів мало.
Доступність створеного продукту (програмно)	Кращі системні можливості забезпечать швидші та більш точні результати.
Легкість і простота використання	Простий зрозумілий інтерфейс, створені довідка та інструкція для користувача.
Підключення до мережі Інтернет	Потребує постійного підключення до мережі інтернет.

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу (Strength, Weak, Opportunities, Troubles) (таблиця 6.11) на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін.

Таблиця 6.11 – SWOT-аналіз проекту

<p>Сильні сторони (S):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- невелика кількість виконавців;</li> <li>- невелика кількість працівників;</li> <li>- гнучкий устрій команди;</li> <li>- інноваційні технології;</li> </ul>	<p>Слабкі сторони (W):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- недостатньо оборотних коштів;</li> <li>- відсутність репутації компанії;</li> </ul>
--	---

Продовження таблиці 6.11

<p>Можливості (О):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- додаткові послуги;</li> <li>- вихід на нові ринки;</li> <li>- розширення клієнтської бази;</li> <li>- співробітництво з іншими компаніями;</li> </ul>	<p>Загрози (Т):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- поява нових конкурентів;</li> <li>- зміни тенденцій попиту;</li> <li>- зниження репутації компанії;</li> </ul>
---	---

На основі SWOT-аналізу розробляються альтернативи ринкової поведінки(перелік заходів) для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок.

Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів (таблиця 6.12).

Таблиця 6.12 – Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

Альтернатива ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
Вихід на нові ринки	Пошук інвесторів	1-5 місяців, зміна локалізації
Розширення клієнто-орієнтованого функціоналу	Пошук інвесторів	Після виходу на ринок основного продукту, до 7 місяців

Спочатку необхідно вивести на основний ринок розроблену систему, а вже потім шукати можливості розширення програмного функціоналу для користувачів.

#### 6.4 Розроблення ринкової стратегії

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів, які визначені у таблиці 6.13.

Таблиця 6.13 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

Опис цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в сегменті	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
Туристи	Потребують	Попит є, проте нижчий ніж дітей та підлітків	Незначна	Помірна
Діти та підлітки	Потребують	Попит є	Присутня	Помірна

Які цільові групи обрано: оскільки різниця між цільовими групами не дуже значна, а також враховуючи той факт, що компанія має бажання почати продажі (а відповідно і отримання прибутку) якомога швидше, то доцільно враховувати усі цільові групи, тобто використовувати масовий маркетинг, пропонуючи стандартизовану програму.

За результатами аналізу потенційних груп споживачів (сегментів) автори ідеї обирають цільові групи, для яких вони пропонуватимуть свій товар, та визначають стратегію охоплення ринку.

Для роботи в обраних сегментах ринку необхідно сформулювати базову стратегію розвитку, яка визначається у таблиці 6.14.

Вибір стратегії конкурентної поведінки визначається у таблиці 6.15.

Таблиця 6.14 – Визначення базової стратегії розвитку

Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
Вихід на нові ринки	Стратегія спеціалізації	Надання товару із варіативністю локалізації	Стратегія диференціації
Розширення клієнто-орієнтованого функціоналу	Стратегія диференціації (допускається стратегія спеціалізації)	Надання товару відмінних якостей, які роблять систему особливою на фоні аналогічних розробок	Стратегія диференціації (допускається стратегія спеціалізації)

Таблиця 6.15 – Визначення базової конкурентної поведінки

Чи є проект «першопроходцем» на ринку	Так, на локальному.
Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Обидва варіанти
Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Так, додавання 3Д моделей та відображення їх у доповненій реальності
Стратегія конкурентної поведінки	Стратегія виклику лідера

На основі вимог споживачів з обраних сегментів до постачальника (стартап-компанії) та до продукту, а також в залежності від обраної базової стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки розробляється

стратегія позиціонування (таблиця 6.16), що полягає у формуванні ринкової позиції (комплексу асоціацій), за яким споживачі мають ідентифікувати торгівельну марку або проект.

Таблиця 6.16 – Визначення стратегії позиціонування

Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту
Доступна ціна, простота і зручність використання, універсальність	Стратегія диференціації	Вирішення важливих поставлених задач швидко, легко та зрозуміло навіть без інструкцій. Легкість і простота у використанні. Доступність через ціну та технічні характеристики	– стандарти якості – метрики ПЗ

Результатом є узгоджена система рішень щодо ринкової поведінки стартап-компанії, яка визначатиме напрями роботи стартап-компанії на ринку.

Отже, робота стартап-компанії на ринку повинна бути спланована орієнтовано таким чином: за стратегією диференціації виконаний і буде поширюватись товар відмінний за властивостями від своїх аналогів,

дотримуючись у конкурентній поведінці стратегії «виклику лідера», тобто випускається один товар для усіх можливих споживачів.

Далі наведена розроблена трирівнева маркетингова модель товару: уточнюються ідея продукту, його фізичні складові, особливості процесу його надання (таблиця 6.18).

### 6.5 Розробка маркетингової програми стартап проекту

Першим кроком є формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач. Для цього у таблиці 6.17 підсумовані результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 6.17 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами
Оцінка якості налаштування точного маршруту.	Оцінка за 4 метриками. Удосконалення оцінки будь-якої з обраних характеристик.	Розрахункові показники, точність та достовірність яких можна оцінювати; кількість вхідних параметрів.

Таблиця 6.18 – Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові
Товар за задумом	Побудова найкращого маршруту для туриста Створення інтерактивних сцен в доповненій реальності Запис точних даних координат початку подорожі Перевірка та збереження інформації про напрямок та швидкість руху.

Продовження таблиці 6.18

Реалізований товар	Реалізовано роботу з відображенням персонажів доповненій реальності. Реалізовано запис початкових координат подорожі. Реалізовано запис маршруту подорожі Реалізовано перевірку запису на наявність у користувацькій БД. Перевірена точність розрахунків.
	Якість: тестування пройшло задовільно
	До продажу: стандартна розроблена система (модуль «Маршрути подорожей» та модуль «Розпізнавання напрямку и кількості кроків»)
	Після продажу: додані додаткові можливості, збільшення споживчої бази.

За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: від копіювання потенційний товар захистити не складає проблеми. Розроблена математична модель методів позиціонування об'єктів доповненої реальності, на якій базується програмна система, публікувалась лише у загальних рисах, а без математичної моделі цей ПП лише набір рядків коду.

Визначення цінових меж, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на потенційний товар, яке передбачає аналіз ціни на товари-аналоги, а також аналіз рівня доходів цільової групи споживачів описано в таблиці 6.19.

Таблиця 6.19 – Визначення меж встановлення ціни

Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни
\$200 – 800	\$2400 – 16000	\$200 – 500



Наступним кроком є визначення оптимальної системи збуту, в межах якого приймається рішення (таблиця 6.20): проводити збут власними силами або залучати сторонніх посередників, вибір та обґрунтування оптимальної глибини каналу збуту, вибір та обґрунтування виду посередників.

Таблиця 6.20 – Формування системи збуту

Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
Бажання отримати більше за менші гроші але готові платити більше за вищу якість	Залучення клієнтської бази та продаж	Нульовий рівень: тільки виробник	Вертикальна маркетингова система

Останньою складовою маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів (таблиця 6.21).

Таблиця 6.21 – Концепція маркетингових комунікацій

Поведінка цільових клієнтів	Канали комунікацій цільових клієнтів	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення
Бажання отримати більше за менші гроші	Будь-які, але бажано з великою кількістю візуального контенту	Низька ціна Широкий вибір функціоналу Легкий і простий у використанні та інтеграції продукт	Донести до користувача суть продукту, його якість, та залучити якомога більше зацікавлених

			клієнтів
--	--	--	----------

## 6.6 Висновки до розділу

Ринок застосунків доповненої реальності демонструє позитивну динаміку, існують великі конкуренти на ринку, які успішно зайняли свої ніші у застосуванні доповненої реальності, як-от Snapchat та Facebook.

Розроблений інноваційний метод позиціонування у застосунках доповненої реальності можливо реалізувати трьома описаними шляхами: розробка власного продукту із використанням методу, продаж методу компаніям-гігантам в індустрії, продаж методу разом з аутсорсом продукту для відомої компанії, яка може впровадити AR. У результаті аналізу ризиків було обрано стратегію розробки продукту-застосунку доповненої реальності із використанням розробленого методу для компанії, яка займається створенням турів закладами міст на міжнародному рівні.

Було описано маркетингову стратегію, оцінено ризики та конкурентне середовище. Маркетингове дослідження демонструє позитивне становище стартап-проекту.

## ВИСНОВКИ

У даній роботі було оптимізовано методи позиціонування об'єктів для застосунків, що використовують доповнену реальність.

У результаті аналізу джерел було розглянуто основи функціонування мобільних застосунків доповненої реальності, досліджено і описано існуючі методи позиціонування. Було виявлено проблеми позиціонування і розміщення об'єктів у доповненої реальності з використанням існуючих методів, зокрема проблему розміщення і позиціонування об'єктів доповненої реальності у приміщенні, і було обґрунтовано необхідність створення оптимізованого методу позиціонування.

Було сформульовано вимоги до методів позиціонування, а саме робота з неточними даними сенсорів, навігація у відносній координатній системі та синхронізація з абсолютним позиціонуванням. Для побудови математичної моделі оптимізованого рішення було ретельно розглянуто модель SLAM.

На основі теоретичних досліджень було створено модель оптимізованої моделі позиціонування для застосунків доповненої реальності. Було вирішено оптимізувати позиціонування шляхом комбінування підходів глобального позиціонування маркерних технологій та методів SLAM.

Для дослідження ефективності було створено програмне забезпечення, яке використовує архітектуру клієнт-сервер. Було описано архітектуру проектованої системи, розглянуто технологічні рішення, які можуть бути використані у рамках дослідження для побудови експерименту, обрано кросплатформені рішення Unity і AR Foundation для розробки мобільного застосунку доповненої реальності і сервіс Firebase у якості серверного застосування

У рамках дослідження ефективності було проведено заміри точності позиціонування із використанням існуючих методів та оптимізованого методу позиціонування об'єктів доповненої реальності. Експериментальним шляхом було продемонстровано більшу точність позиціонування і

незалежність точності позиціонування від знаходження об'єкту і користувача в приміщенні та поза ним.

Розроблений метод позиціонування об'єктів доповненої реальності можна використовувати для покращення досвіду користувача у застосунках доповненої реальності будь-якої галузі, де необхідне позиціонування об'єктів. Було запропоновано стратегію впровадження інноваційного методу, описано маркетингову стратегію просування продукту, який використовує розроблений метод.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. ZED [Електронний ресурс]: (Стаття) / StereoLabs. – Електрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступу: <https://www.stereolabs.com/documentation/overview/positionaltracking/introduction.html>
2. World Tracking [Електронний ресурс]: (Стаття) / Apple. – Електрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступу: [https://developer.apple.com/documentation/arkit/understanding\\_world\\_tracking](https://developer.apple.com/documentation/arkit/understanding_world_tracking)
3. ARCore [Електронний ресурс]: (Стаття) / Google Developers. – Електрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступу: <https://developers.google.com/ar/discover/concepts>
4. Qiu, Y. Zhou, F. Xia, NG. Jin, L. Feng, "A localization strategy based on n-times trilateral centroid with weight", International Journal of Communication Systems, 2012.
5. An indoor-outdoor positioning system based on the combination of gps and uwb sensors [Електронний ресурс]: (Стаття) / UWB. – Електрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступу: <https://pdfs.semanticscholar.org/cd35/d2d7d455dca0075aeb961067330e91fbc9fe.pdf>
6. Accelerometer Basics [Електронний ресурс]: (Стаття) / Accelerometer. – Електрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступу: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/accelerometer-basics/all>
7. Gyroscope Sensor Working and Its Applications [Електронний ресурс]: (Стаття) / Gyroscope Sensor. – Електрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступу: <https://www.elprocus.com/gyroscope-sensor/>
8. Magnetic field measurement [Електронний ресурс]: (Стаття) / Net Base. – Електрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступу: <https://engineering.dartmouth.edu/magnetic field>

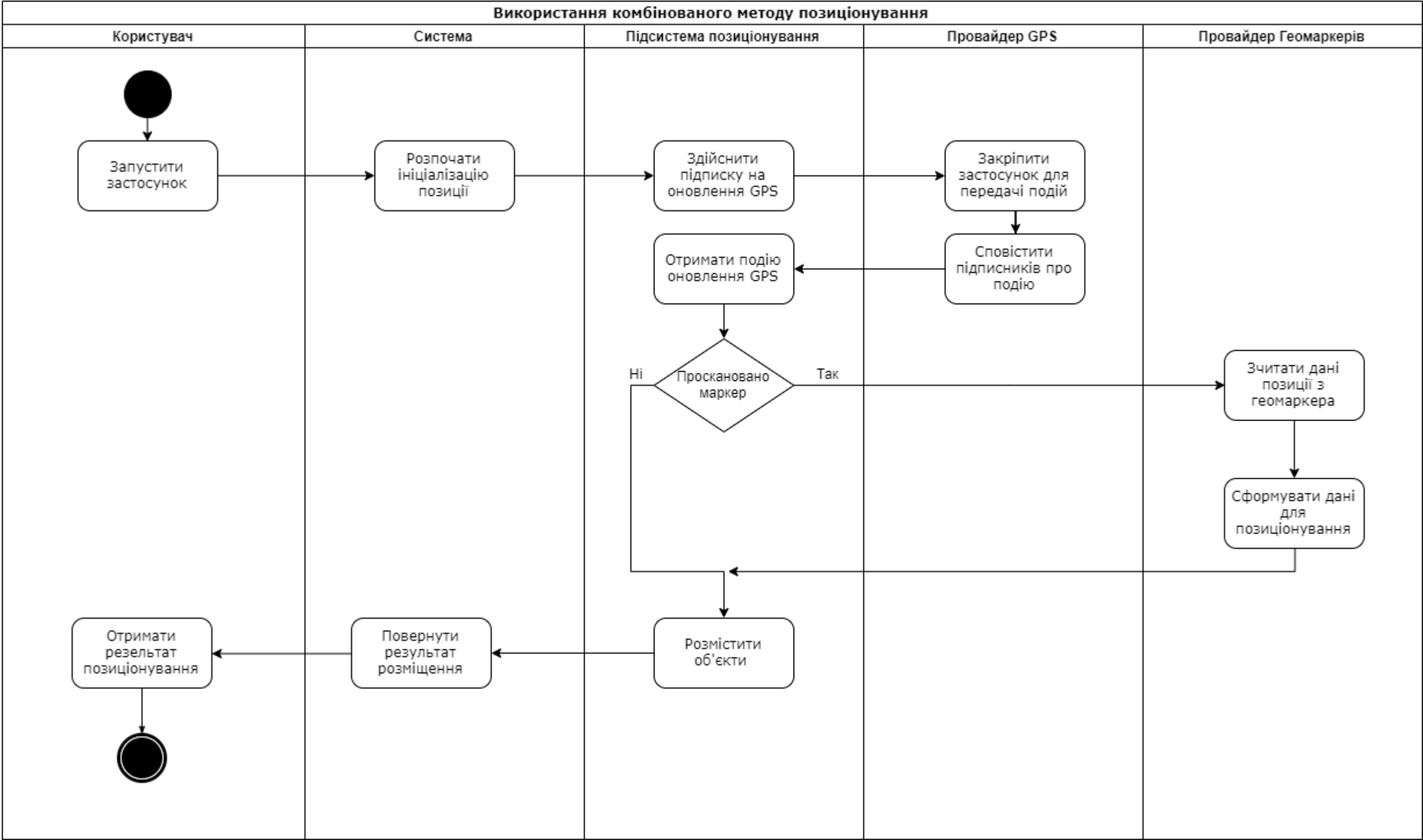
9. WAAS [Электронный ресурс]: (Статья) / GPS WAAS Service. – Электрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступа: <https://web.archive.org/web/20170427033332/http://www.gps.gov/technical/ps/2008-WAAS-performance-standard.pdf>
10. Global positioning system standard positioning service performance standard [Электронный ресурс]: (Статья) / The GPS Standard Positioning Service. – Электрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступа: <https://www.gps.gov/technical/ps/2008-SPS-performance-standard.pdf>
11. GPS [Электронный ресурс]: (Статья) / GPS. – Электрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступа: <https://www.loc.gov/everyday-mysteries/item/what-is-gps-how-does-it-work/>
12. "GPS.gov: GPS Accuracy". www.gps.gov. Retrieved 2019-08-16.
13. GPS: Global Positioning System (or Navstar Global Positioning System) Wide Area Augmentation System (WAAS) Performance Standard, Section B.3, Abbreviations and Acronyms. Archived April 27, 2017, at the Wayback Machine
14. Central Limit Theorem [Электронный ресурс]: (Статья) / Central Limit Theorem. – Электрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступа: <https://www.statisticshowto.datasciencecentral.com/probability-and-statistics/normal-distributions/central-limit-theorem-definition-examples/>
15. A Stochastic Map For Uncertain Spatial Relationships (Статья) / Randall Smith Matthew Self Peter Cheeseman T Enterprise. – Электрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступа: <https://pdfs.semanticscholar.org/76a6/c5352a0fbc3fec5395f1501b58bd6566d214.pdf>
16. "GNSS Indoors — Fighting The Fading, Part 1 - Inside GNSS". www.insidegnss.com. 2008-03-12.

17. Image Recognition & Tracking [Электронный ресурс]: (Статья) / Wikitude. – Электрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступа: <https://www.wikitude.com/blog-image-recognition-tracking-best-practices-and-target-guidelines/>
18. Augmented Reality [Электронный ресурс]: (Статья) / Unreal Engine. – Электрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступа: <https://docs.unrealengine.com/en-US/Platforms/AR/HandheldAR/AROverview/index.html>
19. Axon, Samuel (September 27, 2016). "Unity at 10: For better—or worse—game development has never been easier". Ars Technica. Archived from the original on October 5, 2018. Retrieved October 17, 2018.
20. ARCore [Электронный ресурс]: (Статья) / Google Developers. – Электрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступа: <https://developers.google.com/ar>
21. ARKit [Электронный ресурс]: (Статья) / Apple. – Электрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступа: <https://developer.apple.com/augmented-reality/>
22. ARCore overview [Электронный ресурс]: (Статья) / Google Developers. – Электрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступа: <https://developers.google.com/ar/discover>
23. ARKit 2.0 (Статья) / Habr. – Электрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/company/funcorp/blog/415277/>
24. Viewing your models in Augmented Reality using Unity ARFoundation [Электронный ресурс]: (Статья) / virtualXdesign. – Электрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступа: <http://virtualxdesign.mit.edu/blog/2019/6/22/viewing-your-models-in-ar>
25. AR Foundation [Электронный ресурс]: (Статья) / ETC. – Электрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступа: [https://wiki.etc.cmu.edu/index.php/AR\\_Foundation](https://wiki.etc.cmu.edu/index.php/AR_Foundation)

- 26.Unity's Handheld AR Ecosystem [Электронный ресурс]: (Статья) / Unity. – Электрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступа: <https://blogs.unity3d.com/ru/2018/12/18/unitys-handheld-ar-ecosystem-ar-foundation-arcore-and-arkit/>
- 27.Pokemon Go [Электронный ресурс]: (Статья) / Google Play Market. – Электрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступа: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.nianticlabs.pokemongo&hl=ru>
- 28.The Walking Dead: Our World [Электронный ресурс]: (Статья) / Google Android. – Электрон. дан. (1 файл). – 2019. – Режим доступа: <https://pdalife.ru/the-walking-dead-our-world-android-a31639.html>



# Схема методу оптимізації позиціонування з використанням комбінованого підходу



Демонстраційний плакат до магістерської дисертації

Методи та програмні засоби позиціонування об'єктів доповненої реальності

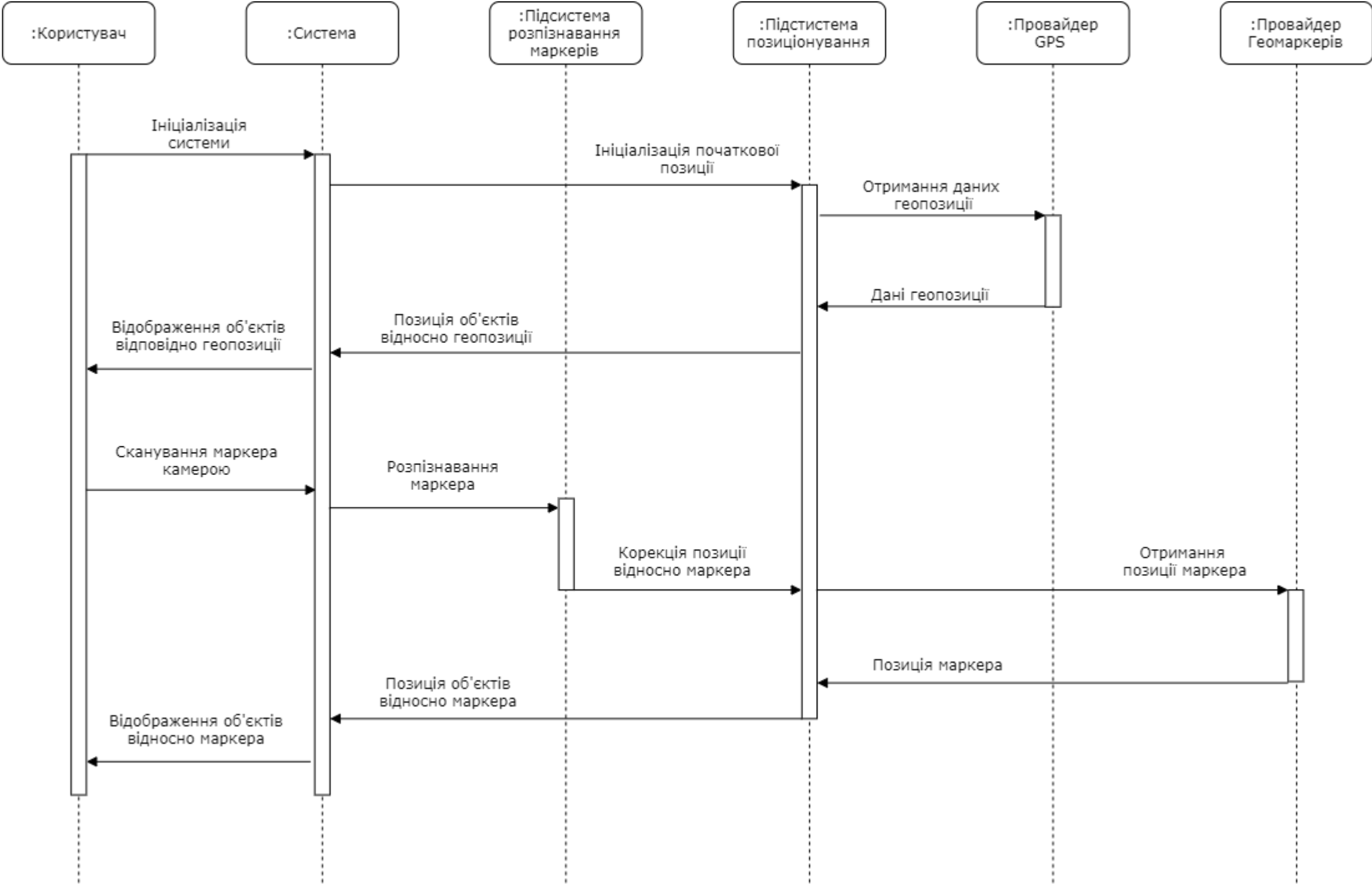
Виконав(ла) студент(ка) гр. ІІІ-81мп

Бернатович А.О.

Керівник

Олійник Ю.О.

# Схема структурна послідовності позиціонування з використанням комбінованого підходу



Демонстраційний плакат до магістерської дисертації

Методи та програмні засоби позиціонування об'єктів доповненої реальності

Виконав(ла) студент(ка) гр. ІП-82мп

Бернатович А.О.

Керівник

Олійник Ю.О.